

博士論文

M2M システム最適化手法の研究

公立はこだて未来大学大学院

システム情報科学研究科 システム情報科学専攻

本田 和明

2014 年 8 月

Doctoral Thesis

Research on the optimization method for M2M systems.

By

Kazuaki Honda

Graduate School of Systems Information Science

Future University Hakodate

Aug. 2014

Abstract

Machine to Machine (M2M), which is garnering attention in the field of information and communications technology (ICT), is a broad term for the exchange of information between devices that are connected to a network. Recently, the term “Internet of Things (IoT)” may be used interchangeably with M2M. In IoT, sensors are installed in furniture, appliances, and a wide variety of other “things” that exist in the real world, which are then connected to the Internet.

There are expectations for the application of M2M in many different fields such as agriculture, forestry, fisheries, healthcare, welfare, and education by utilizing it in combination with the extensive mobile phone networks already in wide use as well as Short-range wireless communication technology where the development of new technologies is progressing. On the other hand, there are quite a number of issues that must be resolved in regards to the utilization of M2M in such fields.

Here, we shed light on the issues currently faced by M2M and aimed to resolve issues through optimization methods taken from the perspective of system integration (SI) and maintenance, which are common to the environment.

Specifically, of those elements that constitute M2M, we focused on those M2M systems with the most differing specifications or that are impacted significantly by their environment. The respective issues related to the constituents of M2M systems—M2M devices, M2M lines, and M2M interfaces—were organized into a four-quadrant matrix and considered.

We first focused on M2M interfaces. An M2M interface is the communication method that is carried out by connecting an M2M line to a network. Different communication protocols are used according to the service that is being provided. In the case of M2M that is implemented in places where there is no human intervention or at remote locations and require

individual servicing by remote control, there is a need to establish a communication method by M2M interface in advance. The configuration of almost all current communication methods makes use of an Internet protocol such as Hypertext Transfer Protocol (HTTP) or Transmission Control Protocol (TCP). Here, we propose an optimization method that utilizes Short Message Service (SMS) and Internet protocol. Its efficacy was verified through demonstration tests carried out after development of a prototype equipped with a Global Positioning System (GPS) receiver.

Next, we discuss M2M antennas used by the devices. In many cases, M2M antennas are placed directly on or in the proximity of metals. However, the radiation property and impedance of communications antenna are affected by metal, which causes performance degradation. For this reason, in order to maintain the designed performance, there is a need to select the optimum communications antenna model on the basis of findings, as well as ensure accurate placement that is tailored to its environment. M2M devices often have differing specifications and are used in differing environments, and the communications antennas that are part of such devices are susceptible to the external environment. As such, very careful M2M antenna model selection and placement is required.

Although consideration by individual specification and environment (system integration) is useful as a method for resolving issues related to individual solutions, its utilization is far from having general versatility. In fact, it is proving to be an obstacle (issue) that is hindering the spread of M2M.

Here, the discussion is based on the assumption that a mechanism that does not require specialized knowledge and can be easily used at any location by anyone will lower the barrier toward the adoption of and facilitate the spread of M2M use.

Wherein, apart from the approach to extract high performance from individual solutions, we report on a communications antenna that we devised and developed from the perspective of optimization. Steady

performance can be secured with this communications antenna even when it is placed close to metal.

Thirdly, we discuss M2M lines. There are multiple M2M lines, such as by Internet protocol type and billing type, in existence for each telecommunications carrier or network. Systems are in operation through which fixed-rate data SIMs for smartphones can be easily selected. However, unlike lines for general consumers—where usage is focused around Internet browsing, email and text communications, social networking services (SNS), etc.—lines with a narrow bandwidth are often used to reduce costs in the case of M2M because the communication takes place between devices with no human intervention. What is more, because individual human maintenance is difficult, there is a need to ensure that the transmission of data will be carried out reliably and that influx of unnecessary data will be prevented.

When considering such characteristics of M2M, guidelines related to the selection of the M2M line would normally be required. However, as of 2014, there have been no such guidelines established, giving rise to problems that trigger failures after the adoption of an M2M line. Therefore, consideration was made here on the method for the selection of optimum M2M lines, with research and analysis made of differences by Internet protocol type and billing type.

As a result of attempting to resolve issues related to the aforementioned three M2M constituents using optimization as the method from the perspective of system integration and maintenance, we succeeded in enhancing the versatility of M2M and lowering the obstacles to adoption. Our hope is that this research will contribute to the popularization of M2M and play a part in the further development of the continually expanding ICT field.

Keywords: ICT, M2M, IoT, Optimization

概要

ICT (Information and Communication Technology : 情報通信技術) 分野で注目を集める M2M (Machine To Machine) は, 機器と機器をネットワークに接続して情報をやりとりする通信の総称である. 最近では, 家具や家電など実世界に存在するさまざまなモノにセンサを取り付け, それらをインターネットに接続する IoT (Internet of Things) も同様の意味で使用されている[1][2]. M2M では, 普及の進んだ広域の携帯電話網や新しい技術開発が進む近距離無線通信技術と合わせ, 農林水産業, 医療・福祉, 教育など多くの分野への利用が期待されている[3]. その反面, これらの分野への利用に関しては解決しなければならない課題も少なくない. 本稿では, 現在の M2M が抱える課題を明らかにし, 環境に共通した SI (System Integration) と保守という観点により最適化という手法を用いて課題を解決することを目的とする.

具体的には, M2M を構成する要素の中で最も異なる仕様や環境の影響が大きい M2M システムに着目し, M2M システムを構成する M2M デバイス, M2M 回線, M2M インタフェースそれぞれの課題を 4 象限マトリクスにより整理し, 検討を行った.

最初に M2M インタフェースについて述べる. M2M インタフェースは M2M 回線をネットワークで繋いで通信を行うコミュニケーション手段であり, 提供されるサービスによって異なる通信プロトコルが採用されている. 人の手を介さない場所や遠隔地に導入され, 個別の保守による遠隔制御が必要な M2M では, 事前に M2M インタフェースによるコミュニケーション手段を設定しなければならない. 現在のコミュニケーション手段の設定はそのほとんどが HTTP (Hypertext Transfer Protocol) や TCP (Transmission Control Protocol) などの TCP/IP プロトコルを利用しているが, 本稿では M2M インタフェースに最適な手段として SMS (Short Message Service) と IP による最適化を提案し, GPS (Global Positioning System) [4]を搭載したプロトタイプの開発により実証実験を行い, その有効性を検証した.

次に, M2M デバイスで使用される通信アンテナに着目した. 通信アンテナは金属に直接あるいは近接に設置される例が多い. しかし, 通信アンテナは放射特性やインピーダンスが金属に影響を受けて性能劣化の要因となっている. そのため, 設計性能を保つには知見を基にした最適な通信アンテナの機種選択と,

環境に合わせた正確な設置が求められる。M2M デバイスは異なる仕様と異なる環境で使用される例が多く、その一部である通信アンテナは外部の環境に左右されやすいため、より慎重な機種選択と設置が求められる。個別の仕様や環境による検討（SI）は、個別のソリューションを解決する手段として有用ではあるものの汎用性がなく、M2M の普及を妨げる障壁（課題）となっている。こうした課題に対し、本稿では専門的な知見を必要とせず、誰でもどんな場所でも容易に使える仕組みが導入障壁を下げて普及を容易にする手段であることを前提に論ずる。そこで、個別のソリューションに対し高性能を引き出すアプローチとは別に、最適化という観点で金属に近付けても使用に適した一定の性能が確保できる通信アンテナを考案・プロトタイプの開発を行い、提案方法の有効性を確認して実用化した。

3 つめに M2M 回線について述べる。M2M 回線は、IP 種別、課金種別など通信事業者やネットワークごとに回線が複数存在し、容易にスマートフォン向けの定額課金制 SIM が選択できるシステムが運用されている。しかし、M2M は人を介さず機器と機器とがネットワークに接続して通信を行うため、インターネットブラウザやメール、SNS（Social Network Service）などの利用が中心となる一般消費者向けの回線とは異なり、コスト削減のため狭い帯域幅の回線を利用する例が多い。また人による個別の保守が難しいためデータの伝送が確実にでき、かつ不要なデータの流入を防ぐ必要がある。こうした M2M の特性を踏まえると、本来であれば M2M 回線の選択に関する指針が必要であるが、2014 年現在、対象となる指針が設けられておらず、それが M2M 回線導入後に不具合を引き起こすトラブルの要因となっている。そこで本稿では M2M 回線の選択に関して、IP 種別と課金種別による違いを調査・分析し、最適な M2M 回線の選択法について検討した。

以上の 3 点において、SI と保守の観点から最適化という手法を用いて課題の解決を試みた結果、M2M の汎用性を高め、導入障壁を下げることに成功した。本研究が M2M の普及に貢献し、拡がり続ける ICT 分野の益々の発展に寄与することを期待する。

キーワード： ICT, M2M, IoT, 最適化

目次

第 1 章	緒論	1
1.1	M2M の構成	3
1.2	M2M の市場規模	5
1.3	M2M で提供されるサービスおよび分野	6
1.4	M2M で必要とされる要素技術	8
1.5	研究目的と本論文の構成	12
第 2 章	M2M システムの現状と動向	14
2.1	関連技術と背景	15
2.2	通信モジュールの低廉化	17
2.3	MVNO 事業者によるコスト競争	19
2.4	標準化の動き	20
2.5	M2M における課題	25
2.6	本研究におけるアプローチ方法	26
第 3 章	M2M インタフェースの最適化	28
3.1	はじめに	28
3.2	M2M インタフェース選択の現状	31
3.3	提案手法	32
3.4	プロトタイプの開発	34
3.5	実験と考察	41
3.6	おわりに	48
第 4 章	M2M デバイスの最適化	50
4.1	はじめに	50
4.2	提案手法	54
4.3	プロトタイプの開発	57
4.4	実験と考察	65
4.5	おわりに	74
第 5 章	M2M 回線の最適化	76
5.1	はじめに	76
5.2	M2M 回線選択の現状	77
5.3	提案手法	79

5.4 実験と考察.....	81
5.5 おわりに	89
第 6 章 結論	90
謝辞.....	92
参考文献.....	94
発表論文.....	102
付録.....	103

第1章 緒論

電話という通信手段は、人と人がより早くより確実に意思を伝達する方法であり、この通信手段の発達で人間は離れた場所にいる相手と会話ができるようになった。回線交換や IP 電話の違いこそあるが、現在も仕事や日常の暮らしの中で有効活用されている。そして ICT (Information and Communication Technology: 情報通信技術) 分野で注目されている M2M (Machine To Machine) もまた、電話という通信技術から発達してきたという背景がある。

M2M とは、機器と機器が通信を行う Machine To Machine の頭文字をとっている。我が国においては 2012 年に閣議決定された「日本再生戦略」でも環境の変化に対応した新産業・新市場の創出に向けてビッグデータビジネスの創出に向けた M2M 通信等の技術の検討・確立が揚げられている[5]。今日では当たり前と思われるこの技術も、電話による通信技術の発達によってめざましい成長を遂げた。通信手段の歴史を振り返ると、手紙が主流だった時代、人々は意思の伝達において会話という直接的な手段以外では時間と手間がかかるこの手紙という手段しか選択することはできなかった。しかし、1876 年（明治 9 年）、グラハム・ベル（スコットランド）が電話機を発明したことで、距離が離れた場所同士での有線による音声伝達が可能になった。1895 年（明治 28 年）には、イタリアのグリエルモ・マルコーニが無線電信装置を発明し、有線では限界があったより遠くの相手に意志や情報を伝達する手法が確立した。

時代は変わり家庭やオフィスに浸透したアナログ固定電話はやがて、無線によるアナログ電話、デジタル固定電話から無線によるデジタル電話へと進化し、屋外でも使え持ち運べる携帯電話へと発展した。携帯電話市場が成熟した現在、インターネットによる通信が爆発的に普及したことで、携帯できる情報端末として利用されていた PDA (Personal Digital Assistant) に携帯電話機能が加わり、スマートフォンといわれる多機能携帯電話が誕生した。スマートフォンの登場は通信機能の向上をさらに促し、それにより通信型ゲームや SNS (Social Network Service) などリアルタイムで機器同士が通信を行うサービスの創出へと繋がった。このような経緯を経て市場に急速に浸透したスマートフォンは、

無線 LAN や Bluetooth に代表される近距離無線通信の技術革新を促進し、また M2M の発展においても多大な影響を及ぼした。携帯電話の誕生に端を発した通信技術は、デジタル化とブロードバンド、ワイヤレスという新たな要素を得て、人を介さず機器と機器が互いに通信し合う M2M の世界を支えるほどに成長を遂げた。

従来の M2M は、それぞれが異なる仕様と異なる環境で利用される例が多く、独自の機器構成、インタフェースを持った特定の用途向け特別仕様（垂直統合型）として開発・導入されてきた経緯がある。その後、サービスと機器を単一のネットワークで接続するのではなく、共通のプラットフォームやクラウド、システムを介してネットワークを構築する共通設計（水平統合型）で開発されるようになり、開発にかかる期間やコストの削減につながった。しかし、同一の仕様で大量生産され、予め想定された同一環境でネットワークに接続する一般消費者向け製品とは異なり、M2M はそれぞれに異なる仕様と異なる環境でネットワークに接続させなくてはならない。このため、個別の仕様や環境による検討（System Integration）は、個別のソリューションを解決する手段として有用ではあるものの、汎用性の点から見るとほど遠く、M2M の普及を妨げる障壁（課題）となっていた。さらに、保守という観点においても現在のシステムにおいては M2M に適した保守が行われているとは言いがたい。

実世界に存在する様々な機器の数を考えた場合、M2M の設置数は人の数より数百、数千倍多いといわれ、そのすべてにおいて個別に SI を行うことは経済的にも物理的にも困難である。さらに、M2M は人を介さず機器と機器とがネットワークに接続して通信を行うため、インターネットブラウザやメール、SNS などの利用が中心となる一般消費者向けの回線とは異なり、コスト削減のため帯域幅の狭い回線を利用せざるを得ない例が多く、また人による個別の保守が難しいためにデータを確実に伝送でき、かつ不要なデータの流入を防ぐ必要がある。本研究では、こうした M2M が抱える課題を明らかにし、環境に共通したデバイスの最適化という手法を用いた課題の解決を試みる。

1.1 M2M の構成

M2M 市場の拡大と通信機器の拡充が進む一方で，課題も出てきた．例えば従来の M2M はサービスと機器や装置類との接続性が単一のネットワークで構成する垂直統合型（専用設計：図 1-1）となっており，システム構築にコストがかかることからサービスの提供価格を高く設定せざるを得なかった．そこで，近年，サービスと機器などを単一のネットワークで接続する垂直統合型ではなく，汎用性のあるプラットフォームやクラウド，システムを用いてネットワークを構築する水平統合型（共通設計：図 1-2）が登場した．これにより複数のサービス事業者が共通のプラットフォームをおのおののスタイルで用いて，独自の M2M サービスを提供できるようになった．この水平統合型 M2M により，医療・ヘルスケア分野，電気・ガス・水道等のエネルギー分野，農業・施設園芸分野[6]といった多様なサービスへの利用と普及が期待されている[7][8][9][10]．

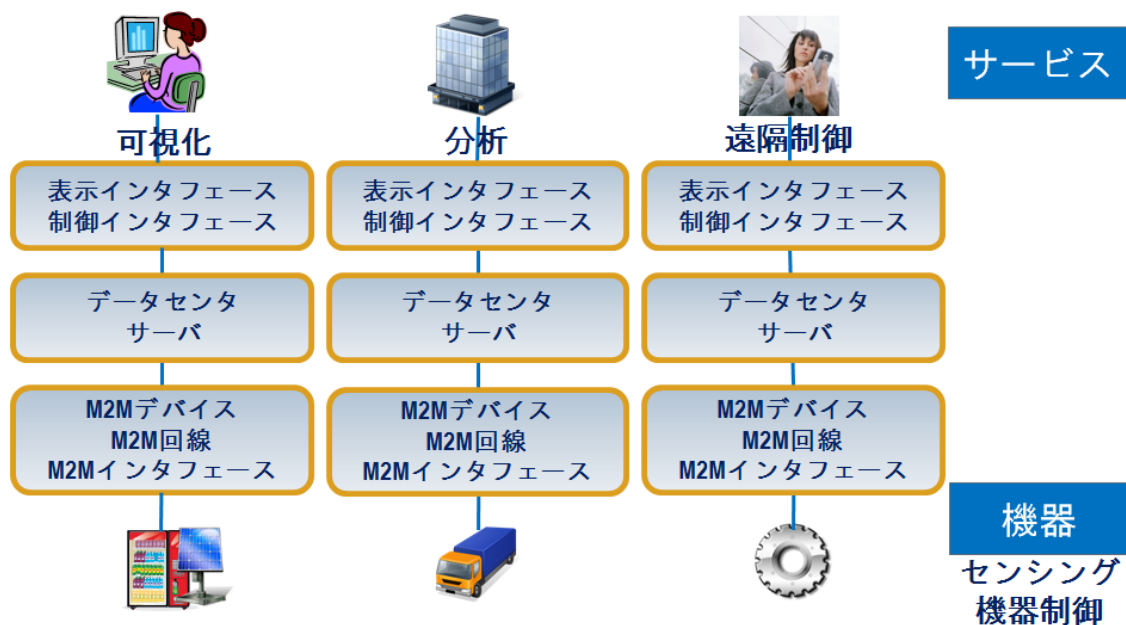


図 1-1 垂直統合型 M2M（専用設計）

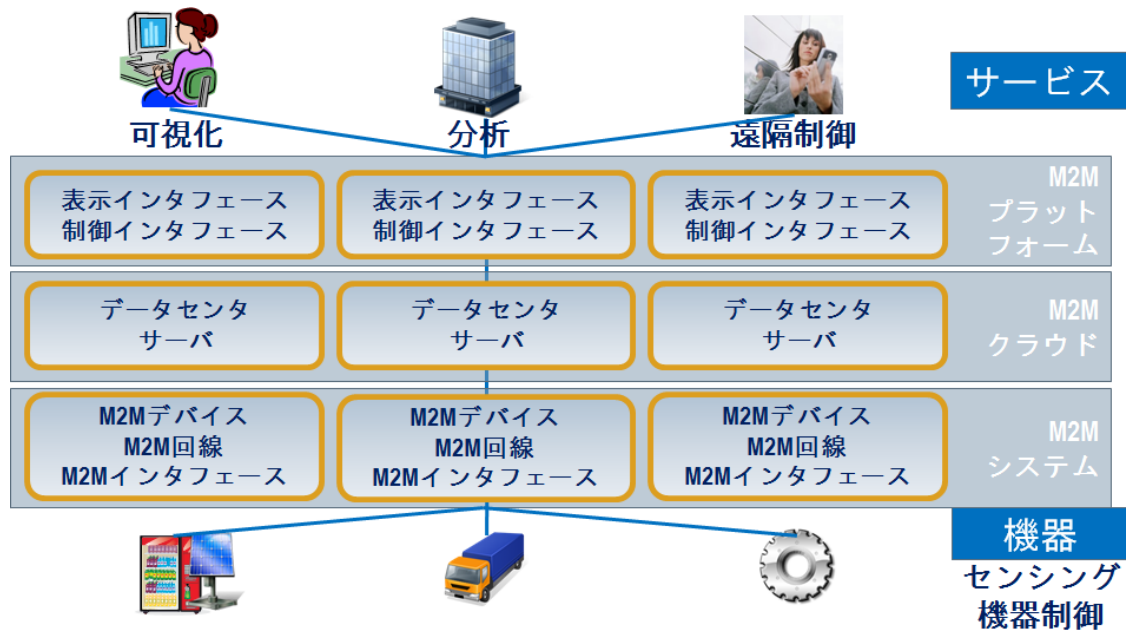


図 1-2 水平統合型 M2M（共通設計）

従来はネットワークへの接続を想定していなかった機器や装置類をネットワークに接続させて、センサを使用してデータを収集し、アクチュエータにより機器を制御することが M2M では可能である。サービスと機器を繋ぐ一連のネットワークは利用者からの距離を起点にして、M2M プラットフォーム、M2M クラウド、M2M システムの 3 種類に大別される（図 1-2）。

(a) M2M プラットフォーム

インターネットや VPN (Virtual Private Network) ネットワークを通じて機器や装置類から収集されたデータを、パソコンやタブレット型端末の画面に表示するためには、提供するサービス内容に応じた表示や、表示の切り替え・選択が行える表示インターフェースが必要である。一方で、ネットワークに接続されている機器や装置類を遠隔で制御するためには、変更を指示するための送出機能を持った制御インターフェースが必要である。M2M プラットフォームとは、提供するサービスによって個別の専用設計が必要だった表示インターフェースや制御インターフェースを容易に設計できるよう共通設計されたプラットフォームである。M2M プラットフォームを利用することで、M2M 市場へ参入する際の開発時間やコスト削減を目指している。

(b) M2M クラウド

インターネットや VPN ネットワークを通じて機器や装置類から収集されたデータを一時保管し、蓄積、編集が行えるデータセンタやサーバが M2M では必要である。それが M2M クラウドであり、インターネットに接続されたパソコンやタブレット型端末が利用しやすいように様々な M2M プラットフォームとの接続性を高めた共通設計で構築されている。M2M クラウドを利用することで、場所を選ばず保管されたデータにアクセスすることが可能である。M2M プラットフォームの中には M2M クラウド上で構築されるケースもある。

(c) M2M システム

M2M では、ルータやモデムなどのデバイスを用いて機器や装置類をネットワークに接続する必要がある。従来は垂直統合型によるサービスと機器などとの接続を単一のネットワークを用いた専用設計で構築していたことから、開発に時間がかかりコストも高かった。M2M システムとは、機器や装置類がネットワークに接続するために共通設計されたデバイス群や通信回線、インタフェースを持ったシステム全体を指す。M2M システムの共通設計化には、サービスと機器とのネットワーク接続に必要であった開発時間やコストを削減することが狙いとなっている。

1.2 M2M の市場規模

近年、M2M 市場は ICT 分野の中で最も注目を集めている。世界の市場規模は、2013 年に 1 兆 4,580 億円[11]となり、日本市場においても 2013 年度では 1,350 億円（累計金額ベース）にものぼる。マーケティングリサーチ会社のミック経済研究所（東京都港区）の試算によると 2014 年度までに平均 22%の成長[12]が見込まれ、2016 年度には 1,100 億円を超える市場になると予測されている[13][14]。中・長期的には後述するスマートシティやスマートコミュニティの中核機能・中核技術として期待されており[15]、医療・ヘルスケア、電気・ガス・水道等のエネルギー管理、農業・施設園芸などの分野ではすでに市場の拡大が図られている（表 1-1）。今後、M2M の普及は欧米や日本などの ICT 先進国から徐々に東南アジアやアフリカ、中南米といった新興国へとシフトしていく

とみられており、機器やデバイスの低廉化、ワイヤレス環境及びグローバル化を背景に 2020 年度の世界市場は 3 兆 8,100 億円（累計金額ベース）に達すると見込まれている[15]。また、世界の携帯電話事業者の業界団体である GSMA（GSM Association）が Embedded SIM（SIM カードのチップ化）[16]に関する報告の中で、M2M 端末は 2020 年頃までに約 110 億個となり、携帯電話を含むすべてのモバイル端末の約半分が M2M 端末になると説明している[17]。

表 1-1 想定される M2M サービスの需要母体[18]

No.	もの	推計数	出所／算出根拠
1	電子書籍端末	690万	シード・プランニング社『電子書籍端末と関連市場の動向』より電子書籍端末の国内市場規模予測台数(230万/年)を元に、今後3年間の需要数を推計。
2	デジタルフォトフレーム	300万	シード・プランニング社『2010年版携帯電話の法人市場展望』より将来的ポテンシャル数(100万/年)を元に、今後3年間の需要数を推計。
3	屋内外電子公告	200万	デジタルサイネージ端末台数は、世界で2008年75万8000台、2010年推計122万台。国内は金額換算でこれの18%のため、20万台と推計。未電子化のものが10倍あると想定
4	自動車 (二輪車、貨物・特殊用途含む)	7800万	H22年8月保有台数 http://www.airia.or.jp/number/index.html
5	自転車	7900万	H22年保有台数 http://www.jbpi.or.jp/?sub_id=4&category_id=236&dir_no=TOP_ROOT:160:236
6	IT・白物家電	6億	年間販売台数(2億台)×耐用年数(3年)として算出
7	パソコン	5200万	年間販売台数(1300万台)×耐用年数4年として算出
8	自動販売機	520万	H21年普及台数 http://www.jvma.or.jp/information/2_01.html
9	電気・ガス・水道メーター	2億4000万	H20年の電気メーター数(8000万)×3として算出 http://www.meti.go.jp/committee/materials2/downloadfiles/g100831a07j.pdf
10	街路灯	4700万	東京都が管理している街路灯から推計
11	自然環境調査用センサ (地震、CO2濃度等)	3800万	日本面積37.7万平方km、1平方kmあたり100個として算出
12	河川流量監視センサ	100万	河川300mあたり1個として算出 http://www.mlit.go.jp/river/toukei_chousa/index.html
13	農業用センサ	18億5100万	耕地面積463万ha、25平方mあたりに1個として算出 http://www.stat.go.jp/data/nihon/07.html
14	その他	1億6690万	飼育されている犬・猫、パチンコ台、昇降機、駐車場、POS等
	計	31億7000万	

1.3 M2M で提供されるサービスおよび分野

M2M は提供できるサービスによって、Machine To Man, Machine To Management, Machine To Machine と呼ばれる。M2M で提供できるサービスには人に対して見える化を行う可視化サービス、管理・監督を行う分析サービス、離れた機器に対して指示を与える遠隔制御サービスがあり、それぞれに対象となる Man, Management, Machine の頭文字を取り、M2M と呼ばれているためである（図 1-3）。

(a) 可視化

可視化とは、人が直接視覚で確認することのできない事物や事象、関係性を映像・画像やグラフ・表にして表現することをいう。M2M を利用した可視化によるサービス提供が期待されている分野には、電力・ガス・水道等のエネルギー管理分野、環境モニタリング・自然監視分野、社会インフラ分野、ヘルスマニタリング分野、見守り・防犯支援分野などがある。

(b) 分析

分析とは、ある事柄を一つひとつの成分や要素に分類・整理・成形・取捨選択した上で解釈することをいう。M2M を使用した分析によるサービス提供が期待されている分野には、医療・ヘルスケア分野、河川・火山情報収集分野、自動車・車両・貨物の位置や消費エネルギー分野、交通インフラ・運行支援分野、金融分野、飲食・小売関連分野などがある。

(c) 遠隔制御

遠隔制御とは、人の手の届かない離れた場所にある機器や装置類に信号を送ることで手動・自動にて制御することをいう。M2M を使用した遠隔制御によるサービスが期待されている分野には、農業・施設園芸分野、植物工場分野、建設機械・重機分野、エレベータ・産業計測分野、工場遠隔制御分野、自動販売機分野などがある。

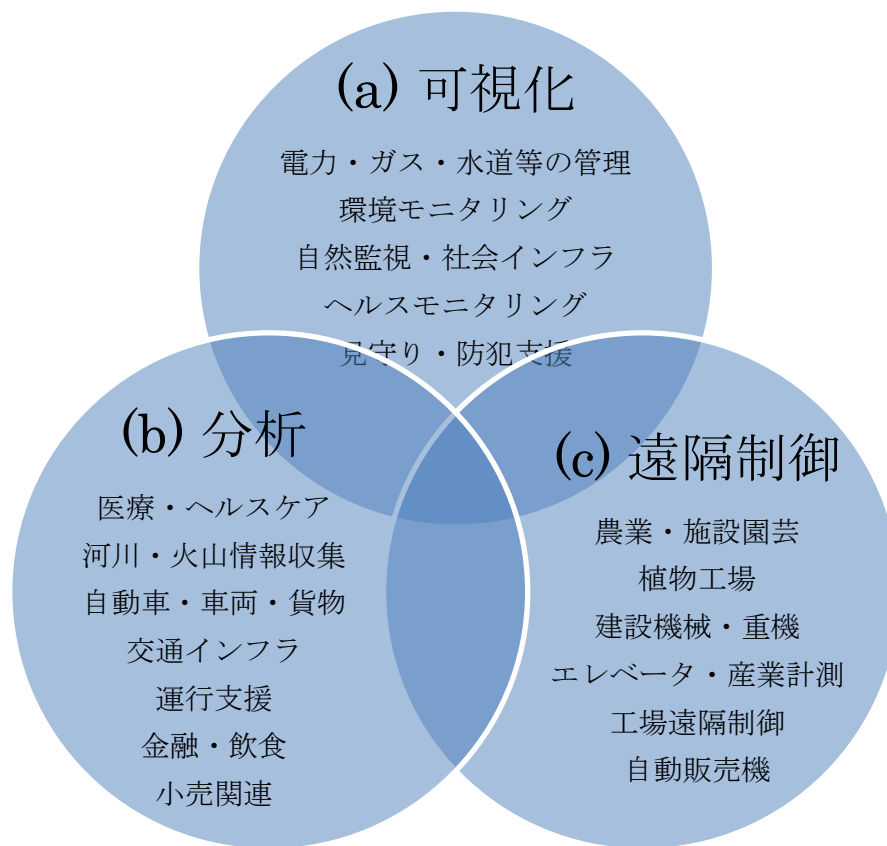


図 1-3 M2M に期待されるサービス分野

1.4 M2M で必要とされる要素技術

総務省の「ユビキタスセンサネットワーク技術に関する調査研究会」の最終報告書[19]を基に 2 つに大別する．サービスを提供するには、大きくセンシング技術と機器制御技術の要素技術が必要である（図 1-4）．

(a) センシング技術

センシング技術とは、センサを用いて種々の物理量・化学量や音・光・圧力・温度などを計測・判別することをいい、M2M では位置情報の取得、状態監視、データ収集の 3 つが求められている．

位置情報の取得は、全地球測位網といわれる GPS (Global Positioning System) など、機器のある場所を特定する技術から提供される．位置情報を用いたサービスには、自動車や貨物、ウェアラブル端末から送られてきた情報を活用した

トレーサビリティ, ルート案内, 見守りサービスなどがある。

状態監視は, 人間の暮らしや植物の成長にとって適する外環境をモニタするための温度センサや湿度センサ, 照度センサ, エネルギーの使用状況を把握するための電力センサなどの各種センサが知らせる, 機器の異常や通信状態, 外環境の情報を管理する技術である。この状態監視を用いたサービスには, 遠隔監視ができる農業・施設園芸, 植物工場, 畜産業における営農支援などのサービスがある。

データ収集は, ネットワークに接続された機器から送られてくる情報や演算結果, ログなどの情報を取得・蓄積する技術である。データ収集を用いたサービスには, 河川・火山情報収集等の環境モニタリングや自然監視などのサービスがある。

(a) 制御技術

制御技術とは, ネットワークに接続された機器から無線を介して機器を遠隔操作する技術である。産業分野では建設機械や重機, 自動販売機, エレベータ, 産業計測, 工場の生産支援ロボットなどで利用されている。

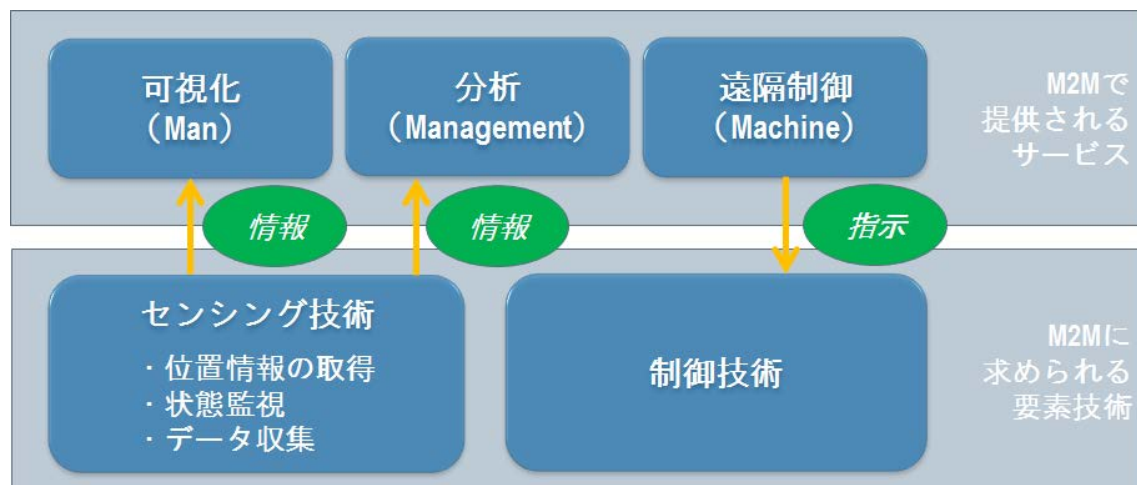


図 1-4 M2M で提供されるサービスと要素技術

このように, M2M で提供されるサービス分野は多岐に及ぶが, 特に医療・ヘルスケア分野や電力・ガス・水道等のエネルギー監視・エネルギー管理分野, 農業・施設園芸分野, 植物工場や畜産業での営農支援分野, 交通インフラ分野

等で期待が寄せられている。我が国においては、WHO（World Health Organization）が2014に発表した世界保健統計によると、日本人の平均寿命は男性が80歳、女性が87歳であり、平均年齢83.5歳と世界第1位の長寿国となっているが[20]、同時に超高齢化社会になっている[21]。国民医療費の総計は2012年度には38.4兆円[22]となり、団塊の世代が80歳代後半になる2025年度には52.3兆円に達すると予測されている[23]。また、2013年度の病院運営実態分析調査によると70.1%の病院が赤字経営となっている[24]。これら日本の複雑な医療問題の解決策としてICTを含めたM2Mが求められている。さらに、中長期的には、世界での拡大が見込まれ、スマートシティやスマートコミュニティの中核サービスとして期待されている[11]。今後想定されるM2Mを利用したサービスの需要母体を表1-1に、具体的な導入事例を表1-2に示す。

表 1-2 M2M サービス分野と導入事例[25][26][27][28][29][30][31][32][33][34]

分野	事業母体	地域	サービス
医療・ヘルスケア	South Miami Hospital	米国	可視化
	Meridian Health	米国	分析
電気・ガス・水道	Arizona Public Service	米国	可視化
	Texas-New Mexico Power	米国	可視化
農業・施設園芸	Norcal Harvesting	米国	可視化・遠隔制御
建設機械・重機	Brookstone Equipment & Service	米国	可視化
自動車・車両・貨物	Mississippi Blood Service	米国	可視化
	COSCON Logistics	中国	可視化
交通インフラ	Progressive	米国	分析
	Vincent Limo	米国	可視化・分析
飲食・小売	Macy's	米国	可視化

スマートコミュニティ（スマートシティ）とは、住宅やビル、工場等に新たな技術を導入し、地域において総合的なエネルギーマネジメントを展開した新しい発想の都市である[35]。クリーンでスマートなライフスタイルを実現するた

めには、再生可能エネルギーの積極的な導入やエネルギー使用の効率化を同時に達成することが大きな課題だが、そこに M2M を用いて街全体の電力の監督・管理することで、省資源化の追求が可能となり得る。図 1-5 にスマートコミュニティにおける M2M の応用例を示す。スマートコミュニティでは、再生可能エネルギーの積極的、かつ効率的な利用を推進し、M2M を用いた HEMS (Home Energy Management System) や BEMS (Building Energy Management System), CEMS (Cluster/Community Energy Management System) といったエネルギーマネジメントシステム xEMS の積極的な活用が期待されている [36]。さらには M2M を活用したスマートグリッド (次世代送電網) [37][38] ではこれまで困難であったデータの収集を可能とし [39][40]、電気自動車の充電情報管理や、交通インフラの分析・可視化により、スマートコミュニティにおける総合的な街づくりが可能となる。



図 1-5 スマートコミュニティへの M2M 応用例[41]

また、国土交通省の推計によると、国土交通省所管の社会資本ストック（道路、湾港、空港、公共賃貸住宅、下水道、都市公園、治水、海岸）の更新費は今後 50 年間に約 190 兆円になると推計されている [42]。これら資本ストックに

対し M2M を用いて構造計測，岩盤計測，漏水計測などを行うことも期待されている[43].

1.5 研究目的と本論文の構成

ICT 分野で注目を集める M2M では，普及の進んだ広域の携帯電話網や，新しい技術開発が進む近距離無線通信技術と合わせ，医療・ヘルスケア，電気・ガス・水道等のエネルギー分野，農業・施設園芸分野など多くの分野への利用が期待されている．その反面，M2M を利用するには解決しなければならない課題も少なくない．本研究では，現在の M2M が抱える課題を明らかにし，環境に共通したデバイスの最適化という手法を用いて課題を解決することを目的とする．

第 2 章では，M2M 市場および M2M システムの現状と動向について説明し，関連技術と背景，M2M を取り巻く標準化の動きと併せ，現在の M2M が持つ課題を考察する．また，考察により得られた課題から本研究におけるアプローチ方法を説明する．

第 3 章では，M2M インタフェースについて述べる．M2M インタフェースは M2M 回線をネットワークで繋いで通信を行うコミュニケーション手段であり，提供されるサービスによって異なるインタフェースが採用されている．人の手を介さない場所や遠隔地に導入されることが多く遠隔制御が必要な M2M では，事前に M2M インタフェースによるコミュニケーション手段を設定しなければならない．現在のコミュニケーション手段の設定はそのほとんどが HTTP (Hypertext Transfer Protocol) や TCP (Transmission Control Protocol) などの TCP/IP プロトコルを利用しているが，本研究では M2M インタフェースに最適な手段として SMS (Short Message Service) と IP による最適化を提案し，GPS (Global Positioning System) を搭載したプロトタイプの開発により実証実験を行い，その有効性を検証する．

第 4 章では，M2M デバイスで使用される通信アンテナに着目した．通信アンテナは金属に直に，あるいは近いところに設置される例が多い．しかし，通信

アンテナは通常、金属に近づくほど放射特性やインピーダンスが本来とは異なる変化をきたし、性能が低下することが明らかになっている。そのため、設計性能を保つには知見を基にした最適な通信アンテナの機種選択と、環境に合わせた正確な設置が求められる。M2M デバイスは異なる仕様と異なる環境で利用される例が多く、その一部である通信アンテナは外部の環境に左右されやすいため、より慎重な機種選択と設置が求められる。個別の仕様や環境による検討（System Integration）は、個別のソリューションを解決する手段として有用ではあるものの、汎用性の点からみるとほど遠く、M2M の普及を妨げる障壁（課題）となっている。こうした課題に対し、第 4 章では専門的な知見を必要とせず、誰でもどんな場所でも容易に使える仕組みが導入障壁を下げて普及を容易にする手段であることを前提に論ずる。そこで、個別のソリューションに対し高性能を引き出すアプローチとは別に、最適化という観点で金属に近付けても使用に適した一定の性能が確保できる通信アンテナを考案・開発することにより、提案方法の有効性を確認する。

第 5 章では、M2M 回線について述べる。M2M 回線は、IP 種別、課金種別など通信事業者やネットワークごとに回線が複数存在し、容易にスマートフォン向け定額課金制 SIM が選択できるシステムになっている。しかし、M2M は人を介さず機器と機器とがネットワークに接続して通信を行うため、インターネットブラウザやメール、SNS（Social Network Service）などの利用が中心となる一般消費者向けの回線とは異なり、コスト削減のため少ない帯域を利用する例が多い。また人による個別の保守が難しいためデータの伝送が確実にでき、かつ不要なデータの流入を防ぐ必要がある。こうした M2M の特性を踏まえると、本来であれば M2M 回線の選択に関する指針が必要であるが、2014 年現在、対象となる指針が設けられておらず、それが M2M 回線導入後に不具合を引き起こすトラブルの要因となっている。そこで第 5 章では M2M 回線の選択に関して、IP 種別と課金種別による違いを調査・分析し、最適な M2M 回線の選択法について検討し、M2M 回線選択に関する指針を明確にする。

第 6 章では、これらの研究によって得られた最適化手法による課題の解決結果を整理し、まとめを述べる。

第2章 M2M システムの現状と動向

M2M は M2M プラットフォーム、M2M クラウド、M2M システムの 3 つで構成される。垂直統合型（専用設計）から水平統合型（共通設計）に移行してきた M2M では、サービス分野が異なっても同じ M2M プラットフォーム、同じ M2M クラウドで利用できるまでになった。構成要素の中で唯一 M2M システムにおいては、対象となる機器との接続や設置される環境による影響が大きく、水平統合型へと移行した現在も要求仕様や導入環境に合わせた SI により、コストが高く大きな障害となっていた。状況が大きく変わったのは各種通信モジュールの価格が大幅に下がったことおよび、Wi-Fi や ZigBee を中心とした近距離無線通信技術（表 2-1）と UMTS や HSPA を中心とした携帯電話[44]の融合が背景にある。従来は共通の規格がなく、機器構成やインタフェースの開発に時間とコストが費やされてきた垂直統合型の M2M（図 1-1）だが、水平統合型（図 1-2）に移行することによって、構成する部品の共通化が図られるようになった。また、従来から近距離無線通信技術を搭載し、サービス事業者自身が独自のサービスに特化した構成でシステムを構築・提供を行ってきたが、携帯電話の発達と通信モジュールの汎用化により、近距離無線通信技術を活かし、共通の規格である携帯電話のインタフェースを利用してサービスを提供できるまでに成長した。さらに、従来の通信事業者 MNO（Mobile Network Operator）に代わり、MVNO（Mobile Virtual Network Operator）や MVNE（Mobile Virtual Network Enabler）事業者の増加が、通信コストを改善し、M2M を推進する原動力になっている。

(a) MNO

MNO とは、電気通信役務としての移動通信サービス（以下、「移動通信サービス」という）を提供する電気通信事業を営む者であり、当該移動通信サービスに係る無線局を自ら開設（開設された無線局に係る免許人等の地位の承継を含む）、または運用している者[45]。

(a) MVNO

MVNO とは、MNO の提供する移動通信サービスを利用、または MNO と接続し、移動通信サービスを提供する電気通信事業者であり、当該移動通信サー

ビスに係る無線局を自ら開設しておらず、かつ、運用をしていない者[45].

(a) MVNE

MVNE とは、MVNO との契約に基づき当該 MVNO の事業の構築を支援する事業を営む者(当該事業に係る無線局を自ら開設・運用している者を除く)[45].

2.1 関連技術と背景

パソコンにプリンタや制御機器を接続することが普及した 1990 年代、パソコンを持たずに電子データを持ち歩ける PDA (Personal Digital Assistant) が注目を集めていた。PDA の登場により今まで紙ベースで管理していたスケジュールやメモの電子化が始まった。また、PDA を持つことで誰もがスマートにビジネスを進められることとなり、大手メーカより発売される最新機種は次々とビジネスマン市場を開拓した。業務利用としての SFA (Sales Force Automation : 営業支援) 端末の普及は PDA によるものが大きい。ただ、PDA には大きな課題があった。PDA とパソコン、機器との通信は有線により行われており、クレードルと呼ばれるスタンド型の拡張機器と接続することで、作成したデータの保存・共有や、PDA の充電を行っていた。また、ナイフとフォークを両手で扱う欧米と異なり、箸を持つアジアの文化圏では、片手操作が重要な要素であり、PDA で主流だったスタイラス (タッチパネル操作のための入力ペン) は、使い勝手が悪く普及しなかった。この有線通信の不便さや両手操作での使い勝手の悪さが PDA 普及の課題でありブレーキとなった。課題を持つ PDA は Research In Motion 社の多機能 3G 携帯電話 (BlackBerry) に代表されるように、携帯電話機能を取り込むことでビジネス向けモバイル端末として進化した。特に北米では、携帯電話機能を実装した新しい PDA をスマートフォンと呼び[46], 通信機能やアプリケーションの強化を行うことで広く市場に浸透した。我が国においても、ウィルコムから PHS を内蔵して登場したシャープ製 Windows Mobile 搭載 PDA W-ZERO3 が大ヒットとなり、2006 年は PDA におけるリバイバル年であったといえる。NTT ドコモ、ウィルコム、ソフトバンクモバイルなど通信キャリアが相次いで Microsoft 社 Windows Mobile 搭載スマートフォンを市場に投入する中、PDA で課題となっていた通信と情報共有機能は、通信キャリア主導による携帯電話との融合により個別に環境に合わせた SI が不要となり、瞬く

間に改善された。無線と操作性を強化された端末は、周辺機器から取り込んだデータや、業務で入力したデータを送信するため、近距離無線通信技術(表 2-1)を取り込み、「通話+ α 」の市場を作り上げた[47].

無線ネットワークである近距離無線通信には、人の周囲(10m~20m 程度)をカバーする無線 PAN (Personal Area Network) と、その周囲(100m まで)をカバーする無線 LAN がある[48]. M2M への利用が進むこれら技術は、PDA に搭載されることで普及し、進化してきた。これは、スマートフォンが PDA より派生したデバイスであり、無線 PAN である Bluetooth や無線 LAN である WiFi が標準で搭載されたためである。スマートフォンの保有率調査では、2011 年 2 月に 5.3%だった保有率が、2014 年 2 月には 58.1%となり、わずか 3 年間に 10 倍以上、2013 年 2 月から 2014 年 2 月の 1 年間では 12.5%も増えている[49]. 2014 年 3 月末時点での携帯電話の契約者数総計が 139,552,000 回線、そのうち M2M などの通信モジュールが 9,597,500 回線[50]であるため、約 1 億 3 千万回線の半数以上がスマートフォンということになる。この爆発的なスマートフォンの普及が、同時に多くの近距離無線通信デバイスを生み、M2M デバイスの発展に寄与している。

M2M では、従来閉域環境で稼働していた機器や、有線により設置施設に限定され使用されていた機器が無線 WAN により広域ネットワークにつながり、時間や場所を問わず多くの情報を共有できることになる。また、機器が取り込む情報は、センサデバイスやアクチュエータ、制御機器であるため、この周辺機器を接続するインタフェースが必要となる。同時に、そのインタフェースには近距離無線通信が利用されている。スマートフォンによるこれら通信技術の普及と発展は、垂直統合型(図 1-1)として開発・導入されてきた従来の M2M デバイスを大きく変えた。普及した無線 PAN, 無線 LAN, 無線 WAN の利用できる通信モジュールは、汎用的なインタフェースを採用しており、M2M デバイスもまたこれらを利用できるインタフェースを持つことで、特定用途向けから汎用性のあるデバイスを組み合わせて構築できる水平統合型(図 1-2)に進化してきた。

表 2-1 近距離無線通信技術[51]

	無線 LAN	Bluetooth	ZigBee	Z-wave	ANT/ANT+
標準規格	IEEE802.11	IEEE802.15.1	IEEE802.15.4	独自規格	独自規格
業界団体	Wi-Fi Alliance[52]	Bluetooth SIG[53]	ZigBee Alliance[54]	Z-wave Alliance[55]	ANT+ Alliance[56]
通信速度	～450Mbps	1Mbps	250Mbps	40Kbps	1Mbps
Network Topology	Peer2Peer Star	Peer2Peer Star	Peer2Peer Star, Tree, Mesh	Mesh	Peer2Peer Star, Tree, Mesh
消費電力	1,000mW 程度	100mW 程度	数十 mW	数十 mW	ZigBee より 低いとする
Profile	規定なし	GAP, HID など	HA, ZSE など	規定なし	WGT, HRM など
主な適用先	インターネ ット アクセス	デジタル機器	Home Automation, Smart Meter	Home Automation,	Sport, Fitness Device

2.2 通信モジュールの低廉化

M2M では、無線 WAN を介してネットワークに接続する通信モジュール（図 2-1，図 2-2）が必要となる．当該モジュールは携帯電話や PHS の機能を有しており，M2M デバイスに欠かすことのできない部品となっている．一般的な携帯電話，スマートフォン，PHS などの電話端末と異なり，通信モジュールは USB や UART（シリアル通信）などによる制御インタフェースを持ち，接続された機器から制御されることで，ネットワークへつながる．

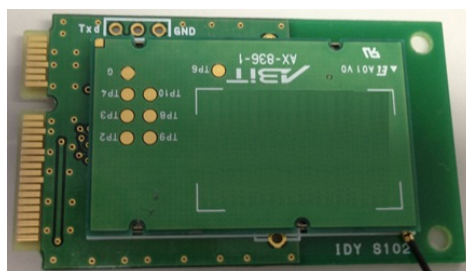


図 2-1 通信モジュール（PHS）（例）



図 2-2 通信モジュール (3G) (例)

図 2-3 に携帯電話や PHS の契約者総計のうち M2M に使う通信モジュールの契約回線数を示す。2014 年 3 月末時点の契約回線累計は 9,597,500 回線[50]であり、2010 年から急激な伸びを示している。これは、図 2-4 に示す通信モジュールの低廉化により、従来は 1 つ 25,000 円以上していた通信モジュールが、1 つ 10,000 円と大幅に下がったことが背景にある。標準化された仕様で大量生産されるコンシューマ向け携帯電話とは大きく異なり、要求仕様や導入環境に合わせる必要がある M2M デバイスにとって、この通信モジュールの低廉化の影響は大きい。人の数より数百、数千倍多いといわれる個別環境に設置されたマシンを M2M デバイスに接続するためには、通信コストと同時に M2M デバイスのコストが重要な要素である。人が常に持ち歩いて使用する携帯電話やスマートフォンでは、端末の価値は所有している人間の価値観によって構成されるが、M2M デバイスでは導入コストや通信の安定性が重要となり、人の数より数百、数千倍多い個別環境用に導入するため、端末の価格や通信コストが安くないでは採用できないのである。

通信によりネットワークでつながるためには、SI を要する頻度を下げ、導入時のコストを減らすことが重要である。

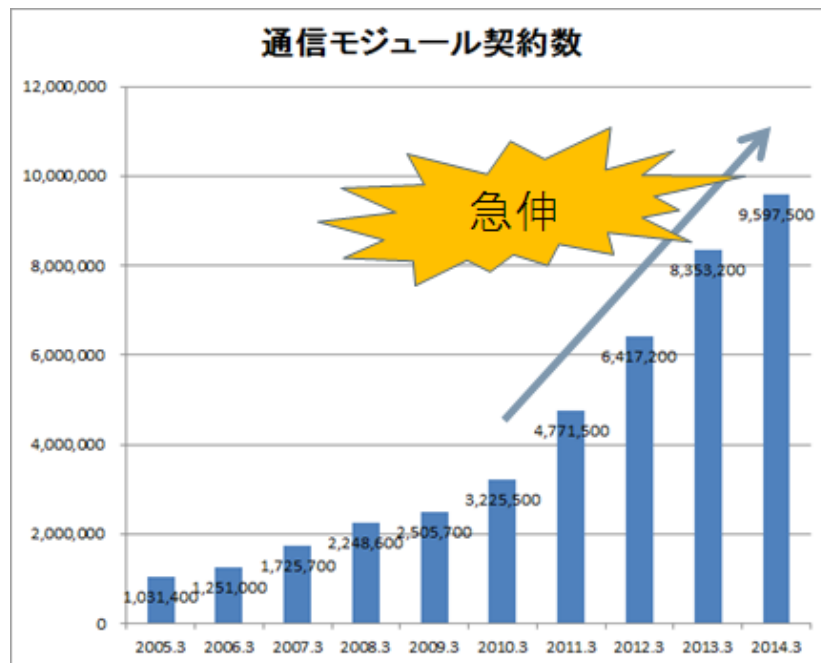


図 2-3 通信モジュール契約数[50]

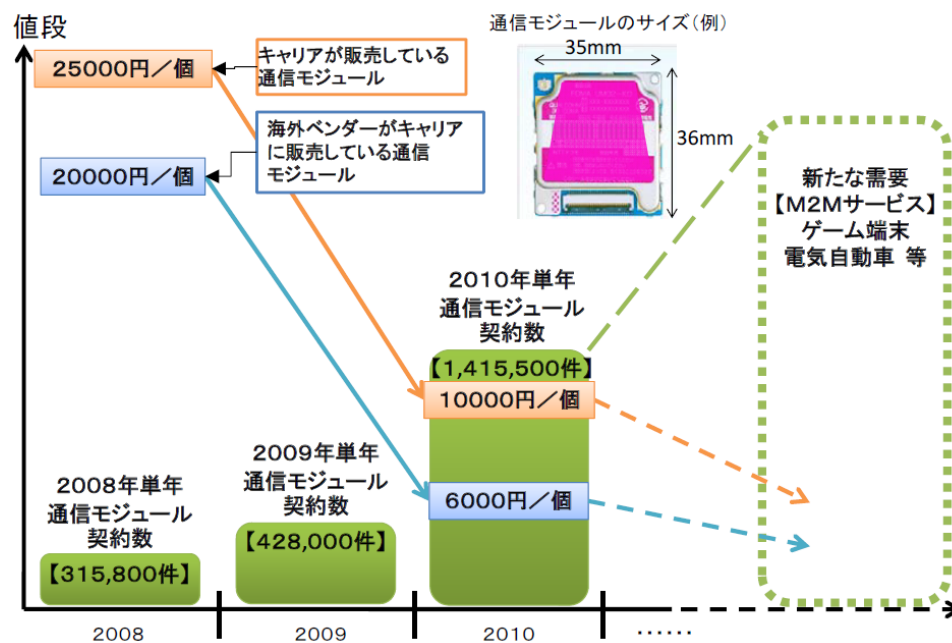


図 2-4 通信モジュールの低廉化[57]

2.3 MVNO 事業者によるコスト競争

MVNO とは、MNO の提供する移動通信サービスを利用、または MNO と接

続し、移動通信サービスを提供する電気通信事業者であり、当該移動通信サービスに係る無線局を自ら開設しておらず、かつ、運用をしていない者をいう[42]. 2013 年 12 月時点での MVNO サービス契約数は 1,375 万（同年 9 月比+9.3%, 前年 12 月比+36.1%）. そのうち、携帯電話・PHS 回線を利用するものは 717 万（同年 9 月比+11.7%, 前年 12 月比+27.6%）となっている[58]. 各 MVNO はデータ通信および音声通信サービスを提供しており、M2M においてもこの MVNO 回線を利用する動きが活発だ. これは、多くの M2M では携帯電話のようにインターネットからデータをダウンロードする（いわゆる「下り」）速度は重要ではなく、ランニングコストが最も重要な要素だからである. このため、機器と機器との通信である M2M にとっては、低速でも安い月額課金が求められている.

表 2-2 代表的な格安 SIM 提供 MVNO と提供するサービス

会社名	通信速度	月額
A 社	250Kbps	504 円
B 社	200Kbps	974 円
C 社	128Kbps	972 円
D 社	200Kbps	972 円
E 社	200Kbps	972 円
F 社	128Kbps	734 円
G 社	200Kbps	972 円
H 社	200Kbps	1,188 円

(2014 年 4 月現在)

2.4 標準化の動き

水平統合型 M2M では、複数の団体で M2M プラットフォームの標準化が検討されている[60]. 欧州地域標準化団体である ETSI は、ETSI TC M2M[61]として M2M プラットフォームの国際標準化作業が進められており、欧州を含め北米やアジアの通信事業者、通信機器ベンダが参加している.

ETSI TC M2M では、マルチサービスに対応することで低コスト化を図り、

複雑化するネットワークを標準 API (Application Programming Interface) にてアプリケーション側に開示することでアプリケーション開発の簡易化を目指している. ETSI TC M2M の機能アーキテクチャを図 2-5 に示す. ETSI のアーキテクチャでは, M2M ネットワークドメインと M2M デバイス・ゲートウェイドメインで構成される. ネットワーク (N) とゲートウェイ (G), デバイス (D) のそれぞれのコンポーネントがプラットフォーム機能 (SCL) を持ち, SCL の相互間接続やアプリケーションとの間での参照点 (mIa, mId, dIa) が規定されている.

北米の地域標準化団体である TIA は, TIA TR-50[62]として M2M プラットフォームの国際標準化作業を進めている. TIA では SDC (Smart Device Communication) と ETSI とは異なる名称で呼ばれているが, アーキテクチャ構成は共通点が多い. 図 2-7 に TR-50 のハイレベルシステムアーキテクチャを示す. サーバはネットワーク, ノードはゲートウェイ, 端末 (PoA) はデバイスに対応している. 図 2-8 (a) には, 端末 (PoA), ノード, サーバそれぞれのプロトコルスタックが定義されており, 図 2-8 (b) には参照点アーキテクチャが規定されて構成されている.

また, 各国が独自に M2M プラットフォームの標準化に期待を寄せている中, 2012 年 7 月に M2M の包括的な標準化団体として, 世界を代表する 7 つの標準化開発機関 (SDO: Standard Development Organization) が集まり, oneM2M が設立された. oneM2M 設立の SDO には, ETSI (欧州), ARIB (日本), ATIS (米国), CCSA (中国), TTA (韓国), TTC (日本) が参画している.

国際電気通信連合 (International Telecommunication Union) においても M2M 標準化が議論されている. ITU の電気通信標準化部門 (ITU-T) では, M2M の標準化対象や課題などについて議論を行う「フォーカスグループ (FG: Focus Group)」や具体的な標準化活動を行う「研究委員会 (SG: Study Group)」を設立し, 議論が行われている[59].

しかし, 標準化が進められているものは, ネットワークを介したアプリケーション間の通信や機能レベルでのアーキテクチャであり, 実際の導入や運用に関わる項目は議論が進んでいない.

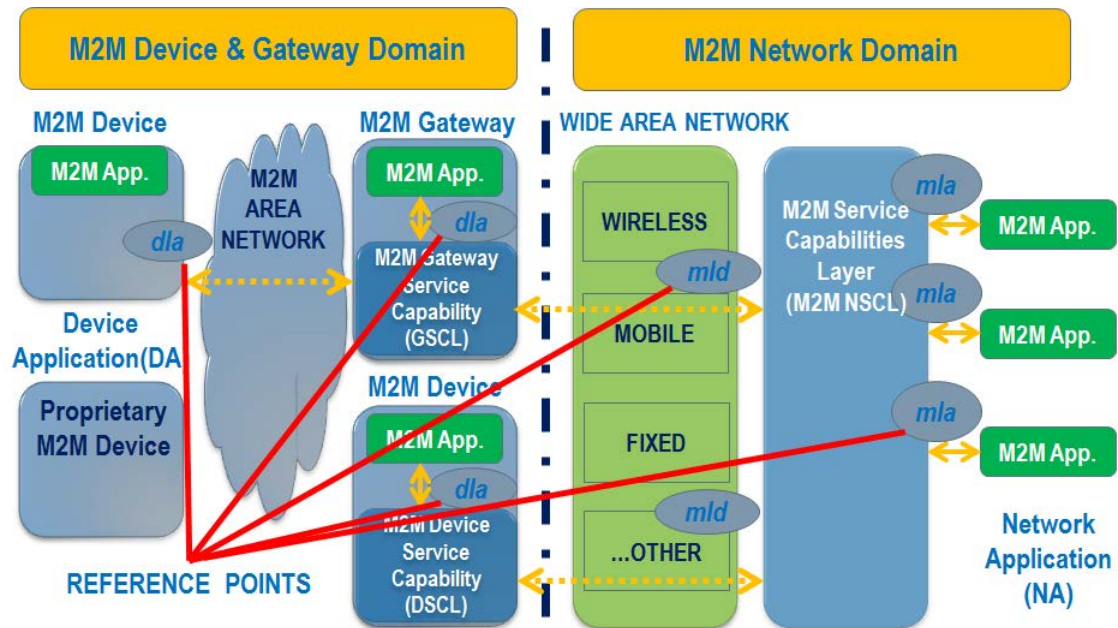


図 2-5 ETSI TC M2M 機能アーキテクチャ[63]

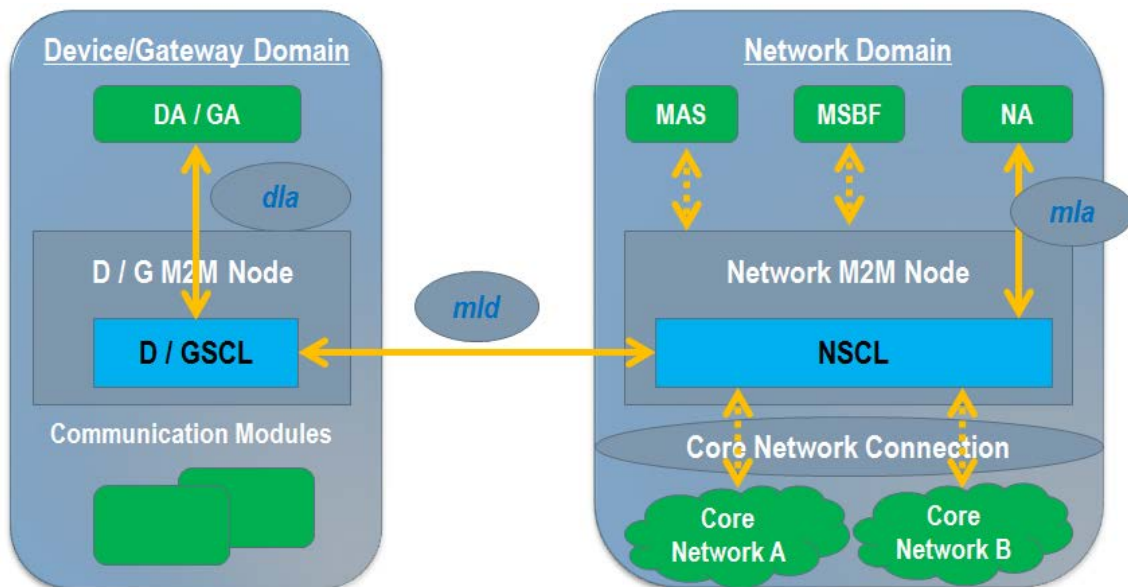


図 2-6 ETSI TC M2M 機能アーキテクチャフレームワーク[63]

Research on the optimization method for M2M systems.

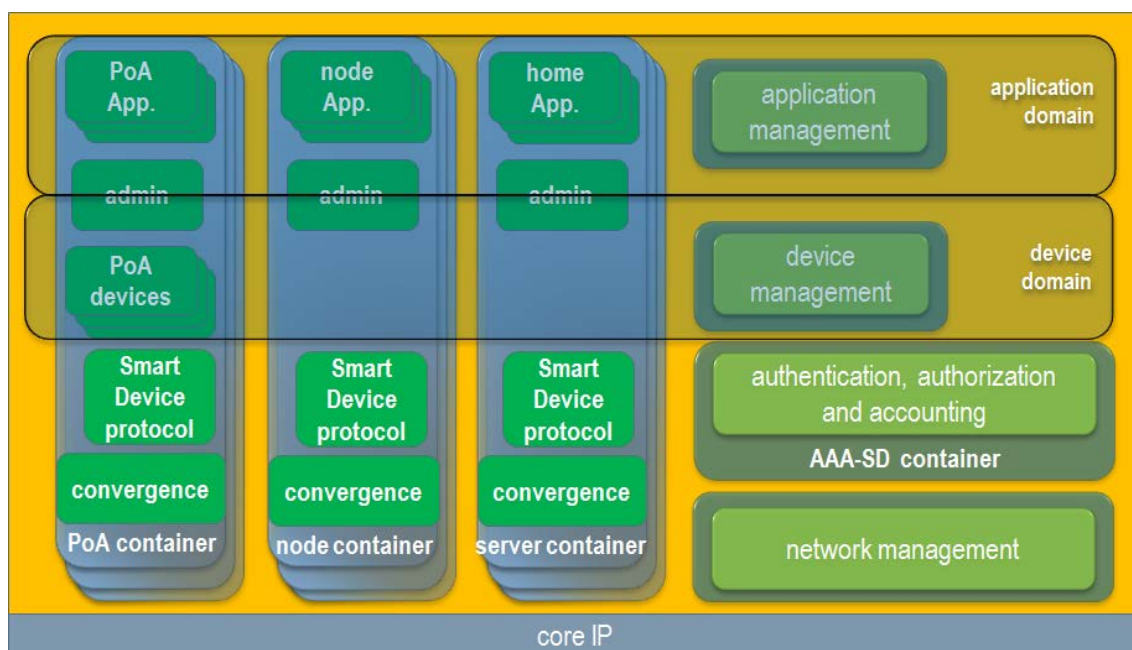


図 2-7 TIA TR50 ハイレベルシステムアーキテクチャ[63]

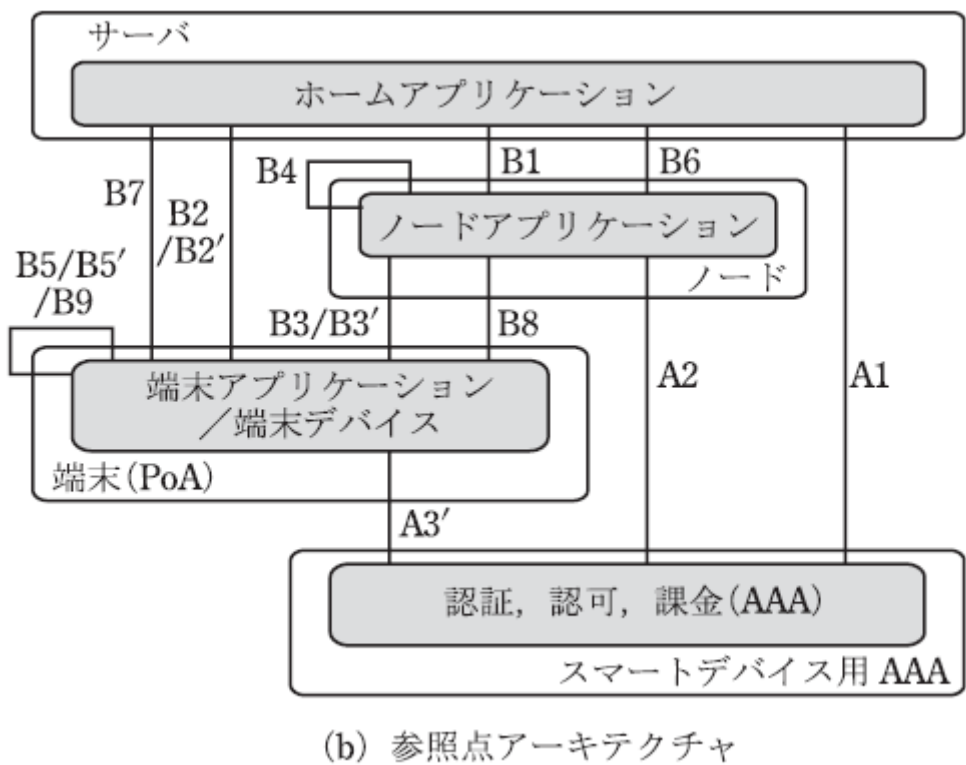
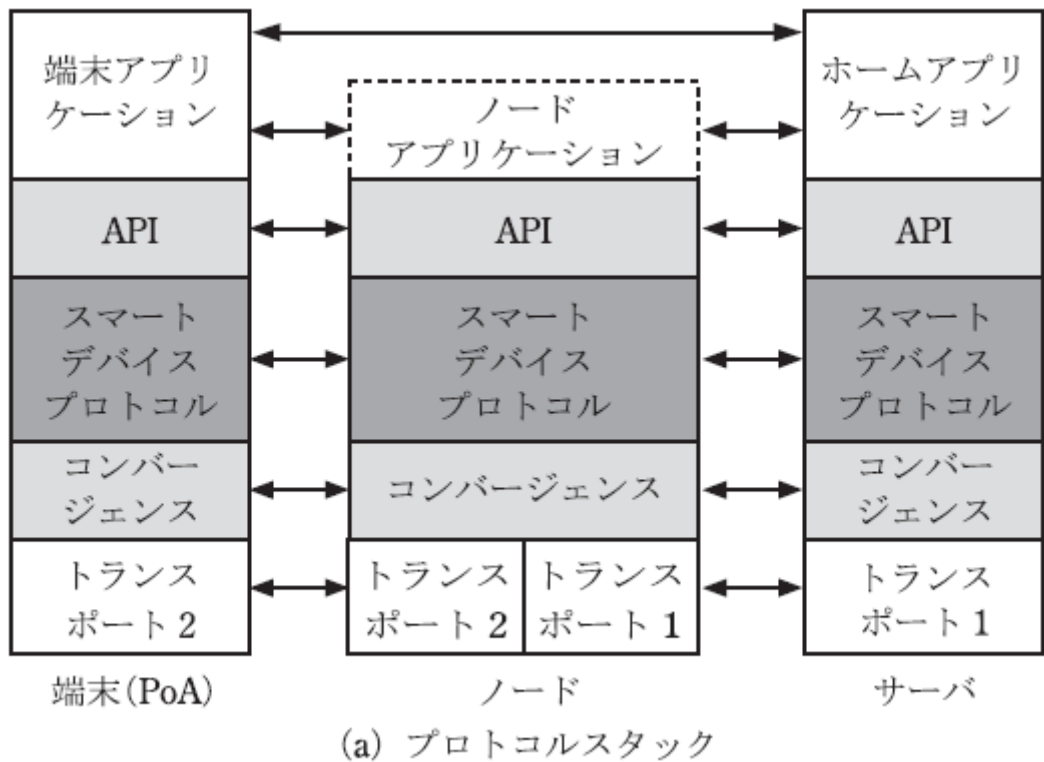


図 2-8 TIA TR-50 M2M アーキテクチャ [63]

2.5 M2M における課題

M2M は、M2M プラットフォーム、M2M クラウド、M2M システムに分類されるが、国際的な標準化が進みソフトウェアによるアプリケーションや汎用的なサーバが利用可能な M2M プラットフォーム、M2M クラウドと異なり、M2M システムでは異なる要求仕様や個別の導入環境でネットワークへの接続させるため、SI が不可欠であり共通化（汎用化）することが難しい。M2M システムの構成を図 2-9 に示す。M2M システムは、ルータやモデムなどハードウェアで構成される M2M デバイス、通信事業者の提供する M2M 回線、M2M デバイスとのデータ送受信および制御に使用する M2M インタフェースから構成される。水平統合型へ移行した現在でも、接続される機器に対して個別の SI が必要であり、導入後も人による個別の保守は難しい現状がある。また、世界的な標準化の動きでは、ネットワークを介したアプリケーション間の通信や機能レベルでのアーキテクチャであり、実際の導入や運用に関わる項目は議論が進んでいない。このため、導入や運用面においては、共通化できない SI や保守が未だ課題となっている。本稿では SI と保守の観点から、M2M システムの共通化を阻害する要因を分析し、最適化手法によって課題を解決する。

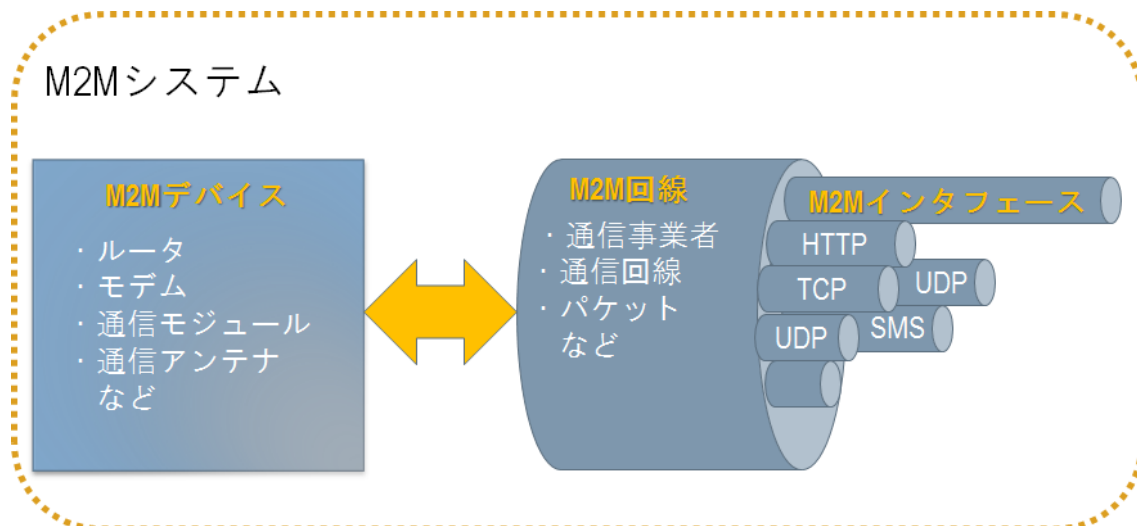


図 2-9 M2M システム構成図

2.6 本研究におけるアプローチ方法

M2M システムには共通化できない SI や保守の課題がある．この課題を解決するため SI と保守の観点で阻害要因を分析した．図 2-10 に M2M システムの共通化を阻害する要因分析を示す．M2M システムには M2M デバイス，M2M 回線，M2M インタフェースがあり，それぞれの構成要素を分析した．分析結果から，M2M システムの課題を解決するためには，図 2-10 の 4 象限マトリクスにおいて第 1 象限に近付くことが SI の頻度を下げ保守を容易にすることにつながる．

まず，第 2 象限にある M2M インタフェースでは，データの収集や遠隔での制御，保守を行うためには通信に使用するプロトコルの設定が必要である．事前のプロトコル設定をなくし，遠隔での設定を容易にすることで M2M インタフェースの課題を解決する．

次に，M2M デバイスでは，第 3 象限から第 1 象限にかけて通信アンテナの設定，ルータの設定，モデムの設定，通信モジュールの設定と必要な項目が存在するが，通信アンテナの設定以外はソフトウェアによる共通設定が可能であり SI の頻度は高くない．したがって，第 3 象限にある通信アンテナの設定（選択）に関し，個別仕様や個別環境に合わせたアンテナの選択（SI）や，選択や設置（保守）における知見をなくすことで M2M デバイスの課題を解決する．

さらに，第 4 象限にある M2M 回線では，個別仕様に合わせた通信回線の設定（選択）が必要である．人による個別の保守が難しい M2M では，データの伝送を確実にを行うため，パソコンやサーバと同じく不要なデータの流入を防ぐ必要があるが，M2M では明確な通信回線の設定指針が存在しない．M2M 回線の選択に関する指針を明確にすることで，M2M 回線の課題を解決する．

本研究における検討対象を図 2-11 に示す．

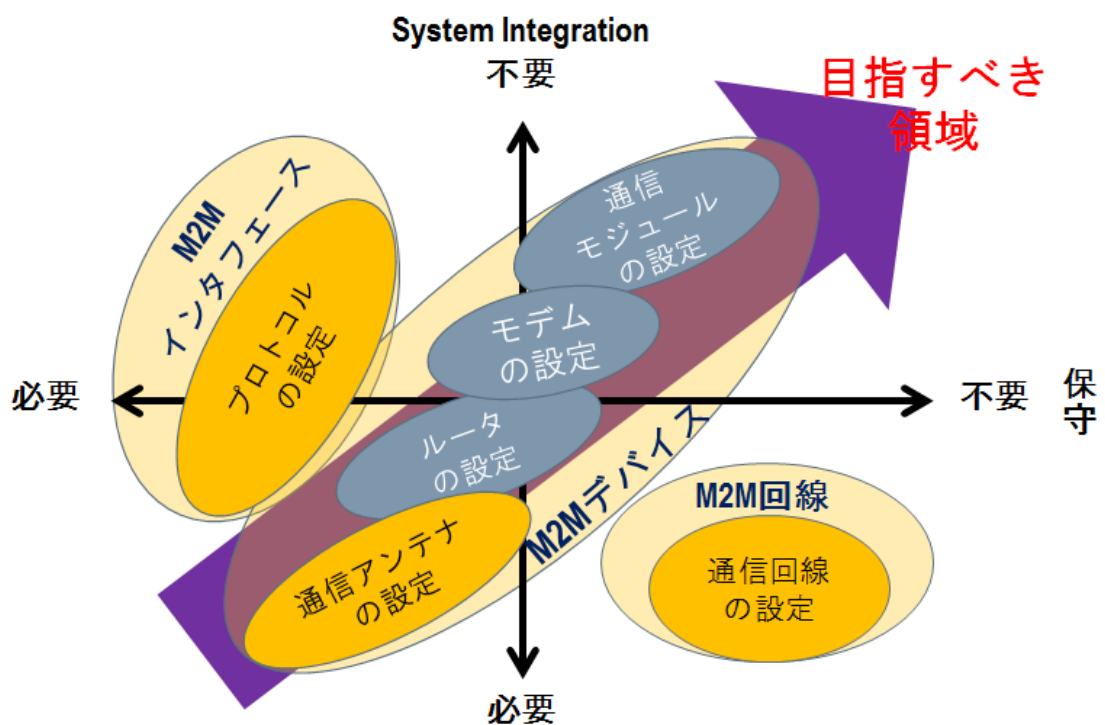


図 2-10 M2M システムの共通化を阻害する要因分析

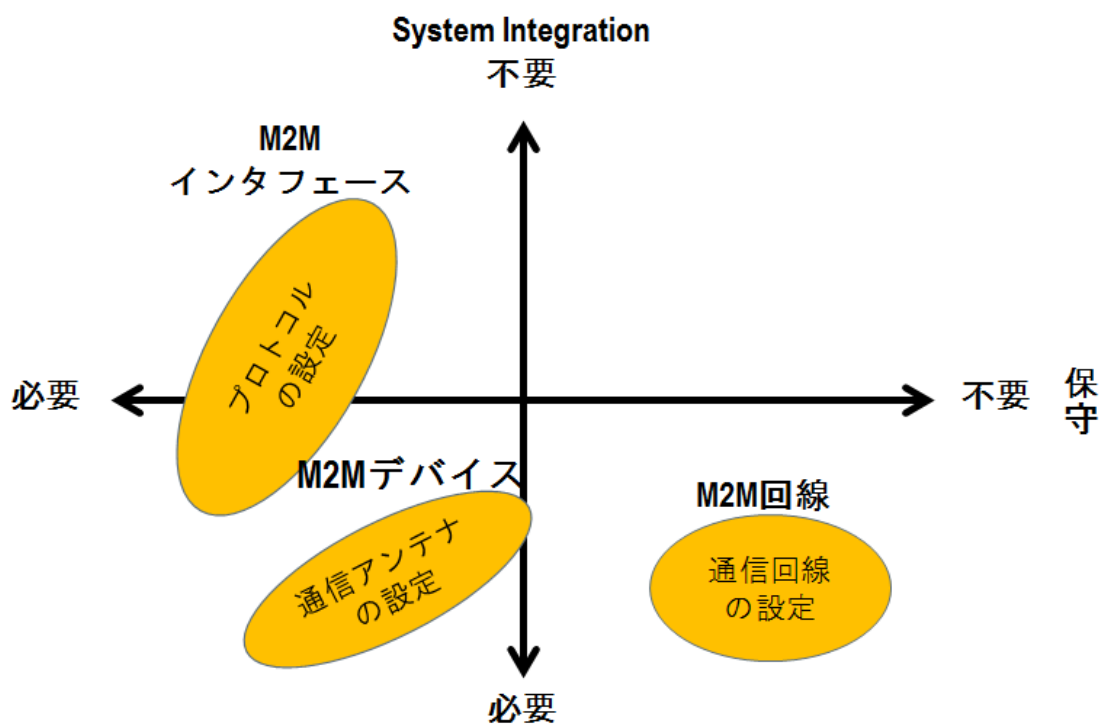
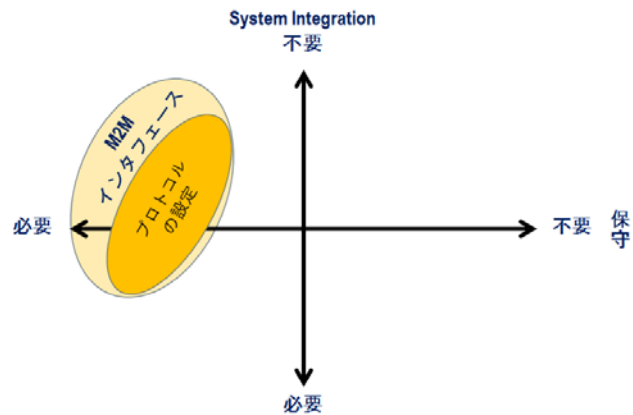


図 2-11 本研究における検討対象

第3章 M2M インタフェースの最適化

本章では、SI と保守の観点で分析した M2M インタフェースの最適化について述べる。M2M インタフェースにおいてデータ収集や遠隔制御、保守を行うためには、事前に使用するプロトコルの設定を行う必要がある。本章ではこのプロトコル設定に関し事前のプロトコル設定をなくし、遠隔での設定を容易にすることで M2M インタフェースの課題解決を試みる。



3.1 はじめに

発展を続ける M2M は様々な機器へ搭載され、利用されている。特に、センサから取得した情報をサーバに送信するシステムでは、センサデバイスの普及により、より身近な機器への搭載が進んだ。代表的な例では、電気・ガス・水道等のエネルギー管理分野における検針作業を自動化する M2M がある。また、在庫、販売情報を取得する自動販売機、満車・空車情報を管理する駐車場、万が一に備え機器の異常検出を行うエレベータ向け M2M がある。最近では BEMS や HEMS に代表されるビル・家屋の電気使用量監視や、小中規模太陽光発電システムから発電量や状態を通知するシステムにも M2M が利用されている。これら情報の伝達には、通信プロトコルの設定が不可欠であり、プロトコルの設定を行わずしてデータの送受信は行えない。M2M は、敷設費用が安く済み、より遠くへ情報を送受信できる利点がある。また、ワイヤレスであるため移動が容易で、センサおよび送受信機自体が移動しながら情報を送ることが可能となる。現在では一部自動車のナビゲーションシステムに搭載され、自車の位置情報をクラウドと接続して運用されている。M2M を利用したワイヤレス通信の利点は、正にこの遠隔への設置や移動体においてある。携帯電話網の成熟と LTE を中心とした通信速度の高速化により通信プロトコルの IP 化が進み、アナログからデジタルへの移行と M2M を含めたスマートフォン、タブレット、クラウド

ドサービスの成長は、よりつながりやすく高速化された新しいサービスを育けると共に、我が国の生成・流通・蓄積される情報量を加速度的に増大させた。通信網がブロードバンド化するという事は、単位時間あたりに送受信されるデータ通信コストが下がる。1つ1つのデータは大きくないが、多くの機器がネットワークに情報を送る M2M は、ビッグデータとして解析・利用されることで、新しい価値のある情報へと進化する。これら環境の整備と技術の進化により、M2M を使ったサービスの創出が増加している。ビッグデータ流通量の推移を見ると、2012 年の流通量は 2005 年の 5 倍となっており、デジタル化された情報により流通量が増大していることがわかる（表 3-1）。ウェアラブルデバイスやスマートフォンなど携帯デバイスにおけるセンサ類は各種管理・分析といった領域でも研究が進められており[64]、2012 年には RFID や GPS といった M2M 系情報の利用がほかと比べて大きく前進している。RFID では 2005 年から 2012 年で約 9 倍。GPS では 10 倍以上の伸びを示している（図 3-1）。このような RFID、GPS やセンサデバイスを搭載したモバイル端末（図 3-2）や、人の体に装着するウェアラブル端末もまた、M2M の発展により広がるデバイスの 1 つである。

表 3-1 ビッグデータ流通量推移（メディア別）[65]

	2005年	2008年	2011年	2012年
アクセスログ	521	1,008	1,566	2,147
Blog、SNS等記事	155	379	721	1,129
電子メール	64,566	121,085	178,501	238,048
気象データ	877	1,958	4,176	6,229
RFIDデータ	64,519	309,559	370,440	583,942
GPSデータ	33,116	104,928	228,801	348,143
Eコマースにおける販売ログ	12	28	50	69
携帯電話	17,765	36,068	56,544	75,881
固定IP電話	38,035	80,958	132,017	178,474
CTI音声ログデータ	2,509	5,662	10,878	15,019
画像診断	71	191	445	630
電子カルテ	227	636	1,032	1,635
業務日誌	1	2	4	6
電子レセプト	2	4	5	7
POSデータ	201,823	371,272	551,026	765,424
経理データ	100	161	234	397
顧客DB	4	7	11	16
合計	424,306	1,033,904	1,536,450	2,217,195

出典の引用データには記載がありませんが、各数値は四捨五入された数値です。
したがって、数値の総計は合計値と異なります。（総務省確認済み）

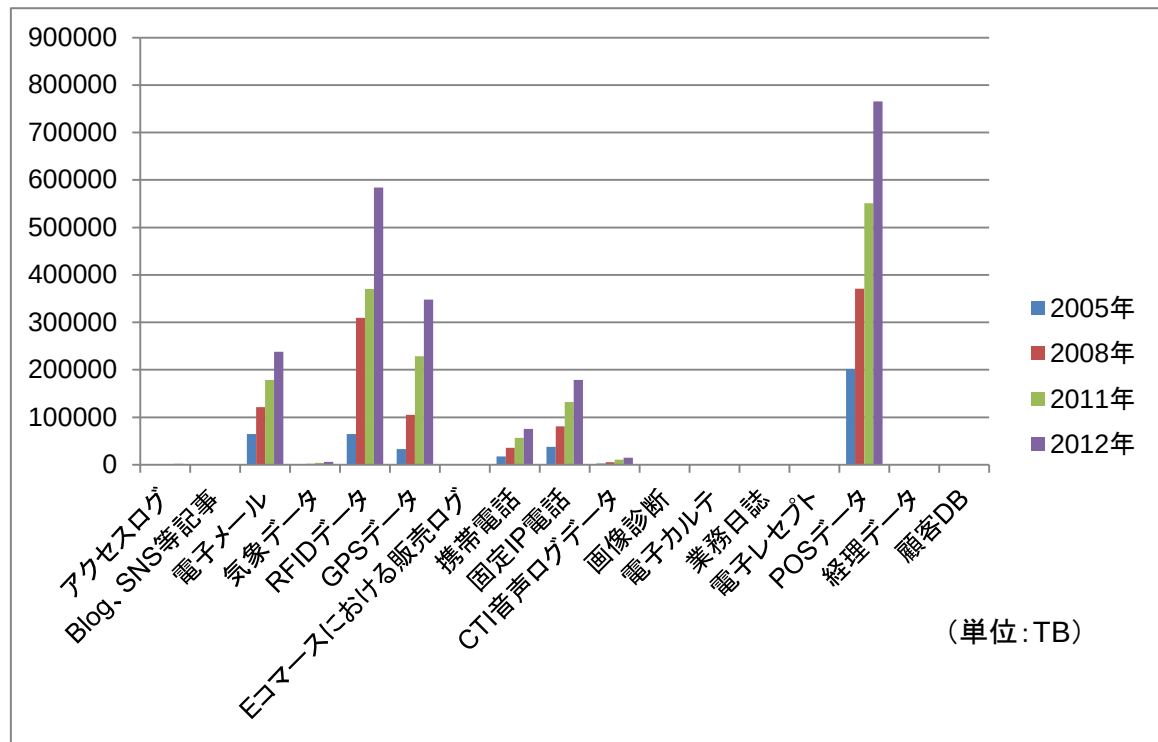


図 3-1 ビッグデータ流通量推移（メディア別）[65]



図 3-2 RFID と 3G, バッテリーを搭載したモバイル計測端末「K-SOK」

3.2 M2M インタフェース選択の現状

M2M インタフェースのプロトコルは、M2M プラットフォーム、M2M クラウド、M2M システムなどの各装置間通信に用いられる。現在多く利用されているプロトコルには HTTP (Hypertext Transfer Protocol) や TCP (Transmission Control Protocol) といった通信プロトコルがある。しかし、パソコンやスマートフォンによる通信と異なりそれぞれは小さいが各種機器や装置類から膨大な量のデータが集まってくる M2M では、プロトコルのオーバーヘッドは小さいに越したことはない。よって、M2M における標準化動向の中では、IETF CoAP (Constrained Application Protocol) [66] や IETF WebSocket [66], 6LoWPAN (IPv6 over Low power WPAN) [68], MQTT [69] などが検討されている [70]。CoAP は M2M に特化した簡易 HTTP である。ヘッダをバイナリ化して圧縮することでコネクションやプロトコルの簡略化を図っている。WebSocket は HTTP を拡張した双方向通信プロトコルである。6LoWPAN はアドレス空間が潤沢な IPv6 ネットワークを採用しており、大量のセンサやアクチュエータを個別に識別・收容することが可能な無線メッシュ型ネットワークプロトコルである。近接デバイス探索時の通信回数やヘッダ圧縮による通信データ量の削減等を工夫しており、通信帯域制限や消費電力低減に有効である [71]。

検討が進められている M2M 向けプロトコルであるが、プロトコルの選択は、MNO や MVNO などの通信事業者によって選択・設定されるものや、サービス事業者によって行われ、プロトコル自体は IP を用いているため初期設定に SI を必要とする。その反面、設定が完了すると大きなデータの送受信に適している。大きなデータの送受信には、遠隔でのデータ収集のほか、デバイスファームウェアの更新や故障診断、修復などがあげられる [72]。

前章で説明したように、M2M には携帯電話や PHS などの機能を有した通信モジュールが使用されている。この通信モジュールを使用するには、MNO や MVNO との回線契約を要する。回線契約を行うと電話番号が割り当てられ、M2M では SMS を使用することが可能である。SMS は半角で 160 文字のテキストメッセージを送受信することができる。割り当てられた電話番号を宛先として SMPP (Short Message Peer-to-Peer) プロトコルで送受信を行うため、SI が不要だが送受信できるデータ量は少ない (表 3-2)。

M2M では、センシングで収集された情報の取得や機器や装置類の制御に通信

プロトコルは必要不可欠であり，SI の負担を減らし，保守を容易にする技術が求められている．

表 3-2 SI と取り扱えるデータによる IP と SMS の比較

方式	選択・設定者	SI	取り扱えるデータ
IP	MNO/MVNO サービス事業者	必要	大きい
SMS	MNO/MVNO	不要	小さい

自動販売機やスマートメータ，自動車といったマシンに使用される M2M デバイスでは，マシンから M2M デバイスへ常に電源が供給されており，電源の心配をする必要はない．しかし，モバイル端末やウェアラブル端末においては，運用に耐え得る駆動時間を確保することが大きな課題となっておりました．本研究では，M2M デバイスである GPS を搭載したウェアラブル端末に関し，省電力化手法の提案と試作機の開発を行い，省電力からの信頼性の向上を実証する．

3.3 提案手法

M2M インタフェースにおける通信プロトコルは情報の取得や機器の制御に欠かせない．しかし，現在は大きなデータの送受信を得意とする HTTP や TCP/IP プロトコルなど IP を用いた通信が主流であり，導入前の SI が課題となっていた．一方，SMS は SI を不要とする有効な機能であるが，人による個別の保守が難しい M2M では，遠隔からのソフトウェア更新や，動作記録の取得が必要であり，小さなデータしか送受信できない SMS では適さない．このため，双方を最適な形で取り入れ，SMS を使用して設置・運用前の SI による負担をなくし，導入後必要に応じて SMS による IP を用いた通信の設定を行うことができれば，運用に適した最適な設定が可能となり，課題が解決すると思った．そこで，GPS から位置情報を取得してサーバに取得するモバイル端末を試作し，SMS と HTTP を最適な形で使用することにより課題の解決を試みる．

モバイル端末は、外部から電源の供給を受けることができないため、バッテリーを搭載して駆動する。バッテリーの電源供給を長く維持することが運用時間を延ばすことにつながる。現在、広く普及しているモバイル端末の省電力手法は、デバイスを休眠（スリープ）状態にして極力電力の消費を抑える手法である。多くのデバイスに利用されている手法であるが、本章では課題の解決のため異なる手法を用いることにする。試作するモバイル端末は GPS を受信して位置情報を送信しながら移動する。無線は有線と異なり、電波環境によって送信出力や受信レベルが変動する。電波環境の悪い所であれば、通信圏外となり、基地局を検索するためバッテリーを多く消費する。スマートフォンのように人に意識的にバッテリー残量を気にして操作する端末と異なり、M2M で使用するモバイル端末は保持している人によりモバイル端末に個別の保守を行うことはできない。また、運用中にバッテリーがなくなった場合でも充電することができない。このため、IP と SMS の両方の通信機能を持つモバイル端末を試作し、情報量の多い位置情報は IP を、IP の設定や各種端末制御など少ない情報は SMS を使うことで最適化し、M2M インタフェースの課題を解決する。

3.4 プロトタイプの開発

移動しながら位置情報を取得するため、全地球測位システムである GPS (Global Positioning System) を利用する。また、携帯電話機能を持つ通信モジュールを装備して、取得した位置情報の IP を使った送信と SMS による制御コマンドの受信を行う端末を開発する。これらデバイスを使用するため、制御用 CPU を搭載し、バッテリーにより電源を供給することにする (図 3-3)。



図 3-3 プロトタイプのハードウェア構成概略

本試作では、SIMCom 社製 SIM5320J を採用した。本モジュールは、図 3-3 の構成にある通信モジュール、GPS モジュールおよび制御用 CPU が 1 つのモジュールとなっており、機器をシンプルに構成することが可能である。SIM5320J の仕様概略を表 3-3 に、試作するハードウェア構成の概略を図 3-4 示す。

表 3-3 SIM5320/-TE 仕様概略[73]

項目		仕様
供給電源仕様	電源電圧	3.3~4.2V(単一電源)
	消費電流	約 2mA~2A(最大値はピーク電流値)
データ通信仕様		デュアルモード UMTS/HSDPA/EDGE/GPRS 通信 GPRS Class B, マルチスロットclass 12, 符号化方式: CS1-4 EDGE マルチスロットclass 12, 符号化方式 MSC1-9 UMTS R99 データレート 384 kbps DL/UL HSDPA カテゴリー5/6 -3.6 Mbps カテゴリー12-1.8 Mbps CSD機能: 9.6, 14.4, 64 kbps UL/DL
GPS仕様		MSA (Mobile Station Assisted) モードA-GPS MSA (Mobile Station Based) モードA-GPS スタンドアローン(オートノマス)モード
SMS仕様		MT, MO, CB, テキスト及び PDUモード SIMカードへのSMS保存 SMS通信経路の選択: CSDまたはGPRS(優先経路はユーザ設定)
SIMカード仕様		1.8V/3V
オーディオ機能仕様 (オプション)	音声符号化方式	ハーフレート(ETS 06.20)
		フルレート(ETS 06.10)
		拡張フルレート(ETS 06.50 / 06.60 / 06.80)
		AMR (WCDMA)
		AMR+QCP (GSM)
		A5/1, A5/2 及びA5/3 暗号化方式
各種外部I/F機能	シリアル	RS-232C標準モデムインターフェースまたはNull Modemモード
	USB	独自拡張を含むATコマンドセット
		USB2.0 スレーブ専用(仮想デバイスモードサポート)
		独自拡張を含むATコマンドセット
	SPI	1.8Vインターフェース、最大転送レート 26MHz
	I2C	最大負荷容量 400pF、最大転送レート 400kbps
電話帳機能仕様		電話帳タイプ: SM, FD, LD, RC, ON, MC
SIMアプリ		SATクラス 3 対応, GSM 11.14 Release 98
ツールキット仕様		USAT対応
リアルタイムクロック		外部バッテリー方式
タイマー機能仕様		ATコマンドによる設定
ファームウェア更新		USBインターフェース経由での更新
PCM入出力仕様		PCM符号化方式: 8 bit (μ -law及びA-law) 及び 16 bit (リニア).
GPIO		7 端子(他の機能との共用端子も含めると最大 21 ポート)
各種入出力		150mAシンクポート、A/D変換入出力、オーディオ入出力
形状仕様	サイズ(W×H×D)	30×2.9×30(TE: 47.5×4×35)mm
	重量	5.6(TE: 12)g
温度環境仕様	動作時	-30°C ~ +80°C
	保管時	-40°C ~ +85°C



図 3-4 SIM5320J を採用したプロトタイプ構成



図 3-5 プロトタイプの実装基板



図 3-6 プロトタイプの外観

プロトタイプでは、GPS を使って測位した位置情報と併せて、課題であるバッテリーの省電力化データを取得する。また、外部からコマンドを送ることで端末を制御し、各種データを自動で送信しなくてはならない。したがって、端末のファームウェアにコマンド送受信部と GPS 情報送信部を設ける(図 3-7)。コマンド送受信部には、携帯電話の SMS を利用する。各通信事業者によっては SMS が使用できない契約も存在するが、本開発ではデータ通信と音声通話が可能な契約を行うことで、SMS によるコマンドの送受信を実現する。ソフトウェアにとって電話番号を使った SMS テキストメッセージによるメリットは大きい。広域ネットワークに接続するためには、インターネットを介してデータを送受信するための設定が必要である。機器は設定が完了して初めて外部ネットワークと情報を送受信することができる。しかし、M2M であるこれら端末は、人の手の及ばない場所に設置されるか、人による個別の保守が受けられない運用をされている。したがって、この初期設定 (SI) の負担は非常に大きい。携帯電話の SMS では、通信事業者との契約が完了し、回線が開通していれば、複雑な設定をすることなくテキストメッセージで容易に送受信することが可能である。また、電話番号により端末を個体としても認識しやすくなるため、運用まで多くの時間を必要としない。デメリットとしては、各通信事業者は SMS のサービスに課金をしており、NTT ドコモでは半角英数字で 1 通 (半角英数字 160 文字まで) の送信に 3 円 (税抜) が課金される[74]。しかし、M2M のサービス

を考えると，SMS を使うことで享受できるメリットは非常に大きい．



図 3-7 プロトタイプのソフトウェア構成概略

GPS で測位したデータをサーバに送信する仕組みには，HTTP 通信の POST メソッドを利用する．送信するデータは GPS 情報に基づき測位できた場合と GPS 情報が不十分(受信できる GPS 衛星が少ないなど)な場合で構成を分ける．

GPS 情報に基づき測位できている場合には以下の情報をサーバに送る．

- IMEI : 端末識別番号 (国際移動体装置識別番号)
- Satellite : 捕捉している GPS の信号強度
- Time : UTC 時刻 (DDMMYYhhmmss)
- Lat : 測位した緯度
- Lon : 測位した経度
- Speed : 端末の移動速度 (m/s)
- Head : 端末の進行方向
- Voltage : バッテリーの電圧(mV)

GPS 情報が不十分な場合には携帯基地局の情報を中心に以下の情報をサーバに送る.

- IMEI : 端末識別番号 (国際移動体装置識別番号)
- Mnc : Mobile Network Code (通信事業者の識別番号)
- Cellid : 携帯基地局の番号
- Lac : Location Area Code (地域番号)
- Mcc : Mobile Country Code (運用地域識別番号)
- LBS_Marker : ロケール情報
- Voltage : バッテリーの電圧(mV)

POST するデータフォーマットを以下に示す. サーバと PHP ファイルの格納先を示す 2 つの可変データ領域と, データサイズ, GPS 測位データで構成される. URL データは SMS により設定を行えることとし, 一度設定を行うことで再設定を行わない限り固定データとなる.

1行目	POST	/test320/gpstracker.php	HTTP/1.1	0x0d	0x0a
2行目	Host:	www.innoxdesign.com	0x0d	0x0a	
3行目	Content-Length:	111	0x0d	0x0a	
4行目	Content-Type: application/x-www-form-urlencoded; charset=UTF-8				
5行目	0x0d	0x0a			
6行目	Location Data				

それぞれのデータ領域はと送信データ例を以下に示す.

(a) データ領域

	:	固定データ
/test320/gpstracker.php	:	可変データ(PHPファイルURL)
www.innoxdesign.com	:	可変データ(サーバURL)
111	:	6行目の文字数
Location Data	:	GPS測位データ

(b) 送信データ例

POST /test320/gpstracker.php HTTP/1.1

Host: www.innoxdesign.com

Content-Length: 111

Content-Type: application/x-www-form-urlencoded; charset=UTF-8

IMEI=861311000484724&Satellite=4&Time=200214

17:50:08&Lat=35.69044&Lon=139.69212&Speed=1.00&Head=1&Voltage=4222

プロトタイプには SMS による設定が必要な項目を実装する。試作するモバイル端末は、インターネットにアクセス可能なすべての人およびマシンからの接続を許可しない。このため、初期設定においてアクセス制限を設ける必要がある。本開発ではアクセス可能な人およびマシンを 5 つとし、SMS で電話番号情報を登録することにより端末への各種設定と制御を許可する仕組みを実装する。SIM カードには、IMSI (International Mobile Subscriber Identity) という固有の番号が書き込まれており、電話番号と併せて個を識別するために使用される。また、現在 M2M で使用される SIM カードには、すべて電話番号が付与されており、人の数より多い機器全てに電話番号が付与されると、電話番号の枯渇が問題となる。すでに M2M による電話番号の枯渇は総務省が中心となり、各通信事業者を含め検討が進められている。本開発では現行のシステムに則り、電話番号を利用する SMS による制御コマンドを実装する。

(c) SMS による各種制御コマンド

1. アクセス可能な電話番号の登録

bind , **登録するインデックス番号(1~5)** , **SMSを送受信する電話番号** **#**

- ・登録するインデックス番号 (1~5) : 5 つ登録が可能
- ・SMS を送信する電話番号 : 携帯電話番号

2. SIM のデータ通信設定とサーバ URL の設定

gprs , **契約したデータ通信用APN** , **サーバURLとポート** , **User Name** , **パスワード** #

- ・ 契約したデータ通信用 APN : データ通信用 APN
- ・ サーバ URL とポート : POST するサーバ URL とポート番号
- ・ User Name : データ通信用 APN のユーザーネーム
- ・ パスワード : データ通信用 APN のパスワード

3. データを POST する PHP ファイルの設定

url , **データをPOSTするPHPファイル** #

- ・ データを POST する PHP ファイル : POST 先の PHP ファイルの URL

4. スリープ時間の設定

gpsstime , **スリープする時間(30~65535)** #

- ・ スリープする時間 : 60 と設定すると、60 秒おきに起床して送信

3.5 実験と考察

開発したプロトタイプを用い、移動しているモバイル端末から位置情報を受信する。プロトタイプを複数台用意しすべてバッテリーを完全に充電しておく。次に、契約した SIM カードをプロトタイプに挿入し、SIM カードの電話番号を SMS でコマンドを送るスマートフォンにアドレス帳登録する。本実験では開発したモバイル端末にプロトタイプ 1 と名前を付けた。

プロトタイプ端末 1 の電源を投入するが、この時点では SI による IP 設定を行っていない。SMS 機能を有さないモバイル端末では、この状態で運用を開始することはできないが、本プロトタイプでは電源を投入して通信事業者の信号を受信できた時点で SMS による遠隔制御が可能となる。図 3-8 に SMS による遠隔設定手順を示す。

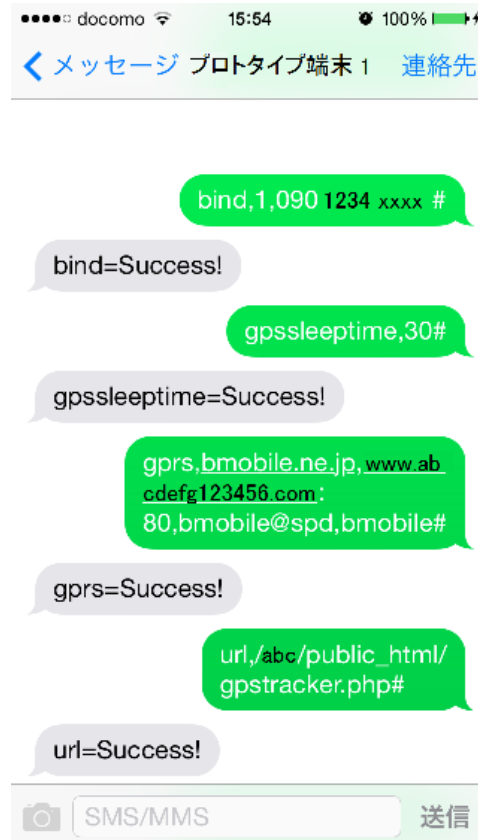


図 3-8 SMS による遠隔制御 (IP 設定)

まず, bind コマンドにてスマートフォンの電話番号を登録し, SMS を使った遠隔からの制御を許可する. 「bind=Success!」というレスポンスにより電話番号の登録が完了した. 次に IP による位置情報の送信間隔を設定する. 以下 SMS を使用した遠隔制御による IP 設定である.

- (a) Bind コマンドにて登録した電話番号のアクセスを許可する
- (b) GPS から取得した位置情報を送信する間隔を設定する
- (c) APN および POST するサーバおよび設定情報を設定する
- (d) POST する PHP ファイルを指定する

IP の設定は手元にモバイル端末を置いておく必要はなく, 設定前に運用場所に送付しておくことが可能である. 本機能の実装が確認できたため, 実際のマラソン大会およびトレイルレースにてランナー (被験者) にプロトタイプを装着し, 実証実験を行った. 実験を行った大会を以下に示す.

表 3-4 実験を行った大会

大会	総距離
2014 沖縄本島一周クレイジーラン	330Km
東京マラソン 2014	42.195Km
小江戸大江戸 2014	42.195Km
2014 板橋 City マラソン	42.195Km
ULTRA-TRAIL Mt.Fuji 2014	169Km
北海道横断勝手に 600Km マラソン	600Km

2014 沖縄本島一周クレイジーラン

2014 年の沖縄本島一周クレイジーランでは 4 台のプロトタイプ端末を使用して実証実験を行った。まず、総距離が 330Km あるため、被験者は 60 時間かけて全日程を走る。プロトタイプでのバッテリー容量では全日程をカバーできないが、本実験は SI と保守の観点から SMS と IP を併用した運用の最適化を確認するものであるため、被験者のペースに合わせて遠隔にてバッテリーをセーブし、データを取ることにした。

本実験では 4 台のプロトタイプを 4 人の被験者に装着し実験を行った。屋外での使用で個別環境によるバッテリーの消費が異なる。また、被験者 3 人が途中棄権となったため、一番長く実験を継続できた被験者 O の端末を元にデータを考察する。

図 3-9 に被験者 S の全軌跡、図 3-10 および図 3-11 に 2014 年 1 月 24 日 18:14 にスタートしてからバッテリー電圧が下がり端末が動作しなくなるまでの軌跡を示す。軌跡では沖縄本島の国頭郡国頭村楚洲辺りで位置情報が取得できなくなったことがわかる。



図 3-9 2014 沖縄本島一周クレイジーラン 全軌跡（被験者 O）

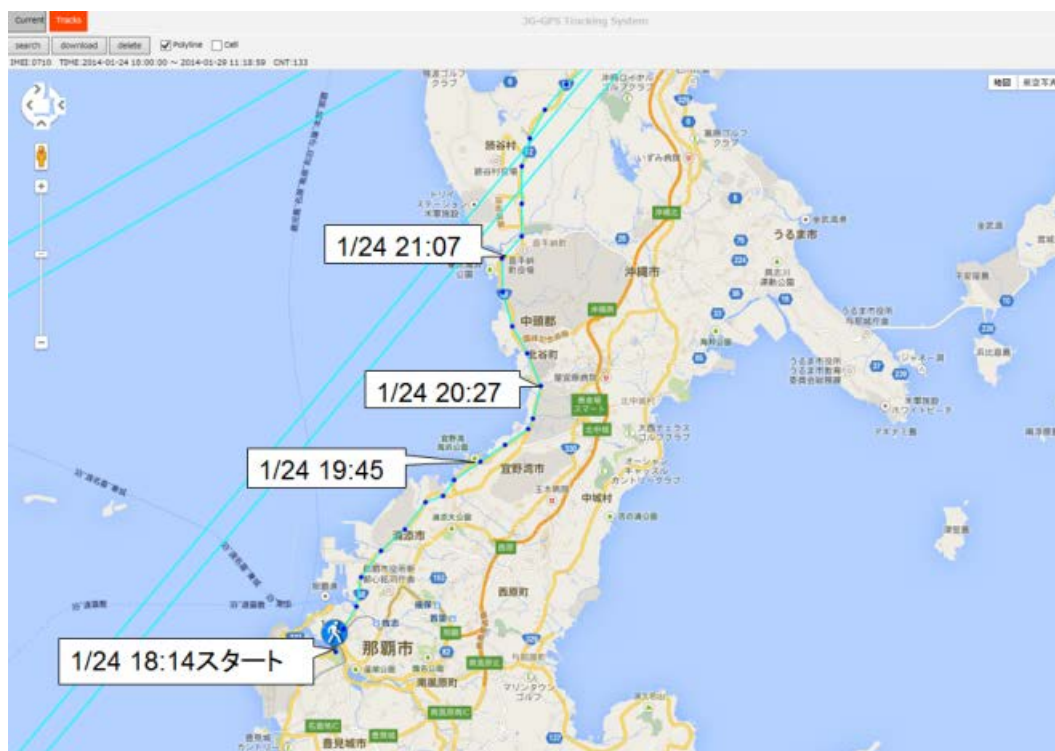


図 3-10 2014 沖縄本島一周クレイジーラン スタート時軌跡（被験者 O）



図 3-11 2014 沖縄本島一周クレイジーラン 最終計測地点（被験者 O）

また、GPS で取得した位置情報および、取得時刻、衛星捕捉数、電圧などの端末から送られた情報を表 3-5 に示す。被験者 O は約 22 時間 36 分実験を継続でき、2014 年 1 月 25 日 16:37 でバッテリー電圧が 2,946mV となっている。したがって、沖縄本島の国頭郡国頭村楚洲で位置情報の取得ができなくなった理由は、バッテリー電圧の降下によりプロトタイプ端末が停止した（電源 OFF）と判断できる。

表 3-5 被験者 O 装着端末データ（サーバ受信）

サーバ受信時間	緯度	経度	衛星捕捉数	電圧 (mv)
2014/1/24 18:14	26.20634	127.675	7	4008
...				
2014/1/24 19:45	26.27979	127.7378	6	3930
...				
2014/1/24 20:27	26.30923	127.7636	5	3942
...				
2014/1/24 21:07	26.35819	127.7468	5	3906
...				
2014/1/25 6:17	26.6661	128.1039	7	3732
...				
2014/1/25 7:50	26.72715	128.1651	7	3724
...				
2014/1/25 11:53	26.83563	128.2864	8	3682
...				
2014/1/25 12:44	26.83647	128.2866	5	3684
...				
2014/1/25 16:37	26.77747	128.324	7	2946

プロトタイプによる実験では、SI による IP 設定（HTTP 設定）を行わずに運用環境に設置（装着）した。その後、運用開始（レース開始）直前に SMS による IP の設定と位置情報の送信間隔を 30 秒に設定した。情報量の多い位置情報の送信には IP を用いて送信する。図 3-12 のプロトタイプ端末の SMS による電圧変化を見ると、レース開始後には 30 秒ごとにデータを送信するため、電力の消費が大きくバッテリーの電圧降下も大きい。その後、保守として SMS による送信間隔の変更を行った。10 分ごとに位置情報を送信する設定に変更したことで電圧降下の傾斜がゆるやかになり、運用が継続できたことが確認できる。

本実験では、運用前の SI を行わず、個別の環境で遠隔により SI を実施できることを確認した。また、大きなデータの取得には IP を利用した通信が有効だが、SMS と IP を併用することで運用に適した最適な設定が行えることを確認した。

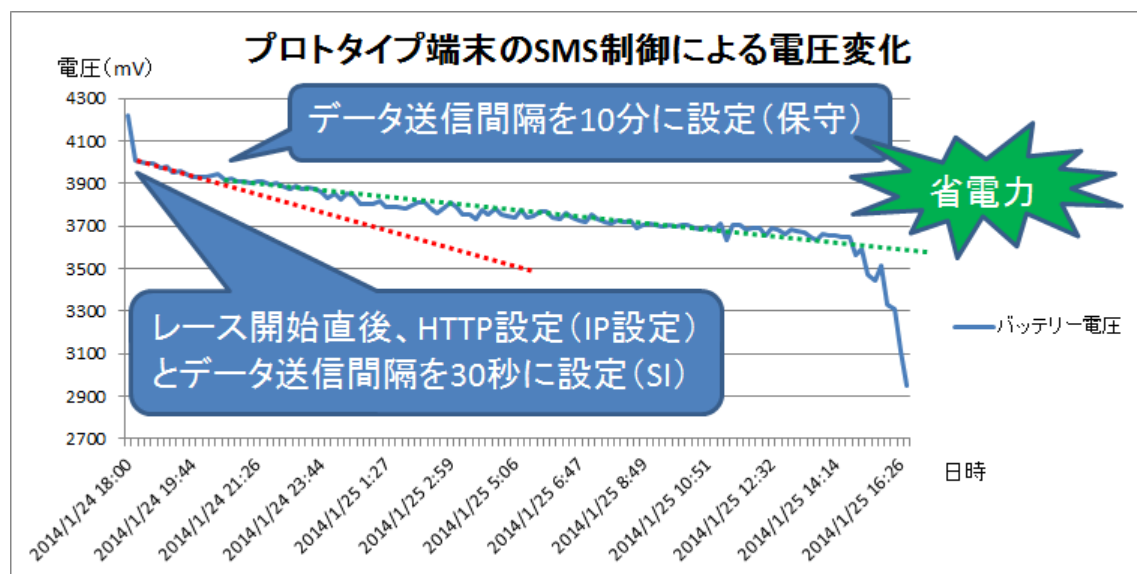


図 3-12 プロトタイプ端末の SMS による電圧変化

3.6 おわりに

本章では、SI と保守の観点で分析した M2M インタフェースの最適化を検討するため、SMS による遠隔設定が行えるプロトタイプを開発し実証実験を行った。結果、SMS は一度に扱えるデータが小さいが、運用前のプロトコル設定を必要としないため、SI の負担が軽減し、有効であることが確認できた。また、運用では一度に多くのデータを扱える IP 通信を行うが、SMS による遠隔設定を可能にしたことで保守が容易になった。SI と保守の観点から IP と SMS を最適な形で利用する手法は、M2M インタフェースの課題を解決し汎用性を高めることに成功した。特に現場が遠く運用時間の長い ULTRA-TRAIL Mt.Fuji 2014 や北海道横断勝手に 600Km マラソンでは、遠隔での機器設定や位置情報の取得に効果を確認できた (図 3-13)。

今回、本プロトタイプで実験を行うことで、複数端末を用いた位置情報管理アプリケーションやモバイル端末のバッテリー管理に新しい発想を取り入れることができた (図 3-14)。現在、M2M の機器としては常時電源の供給が受けられる移動しない機器や、移動するが発電機を搭載して常時電源の供給を受けられる自動車などであった。しかし、装着者が機器や端末を操作しないウェアラブルな端末も M2M と捉えることができる。今後サービスが期待される福祉・介護分野や生体情報を収集する医療・ヘルスケア分野もその 1 つである。このような分野では、運用時間の想定は行うものの、装着者に充電などの電力の補充を要求することはできない。今回の研究は新しい M2M の可能性と課題を示したといえる。

Research on the optimization method for M2M systems.

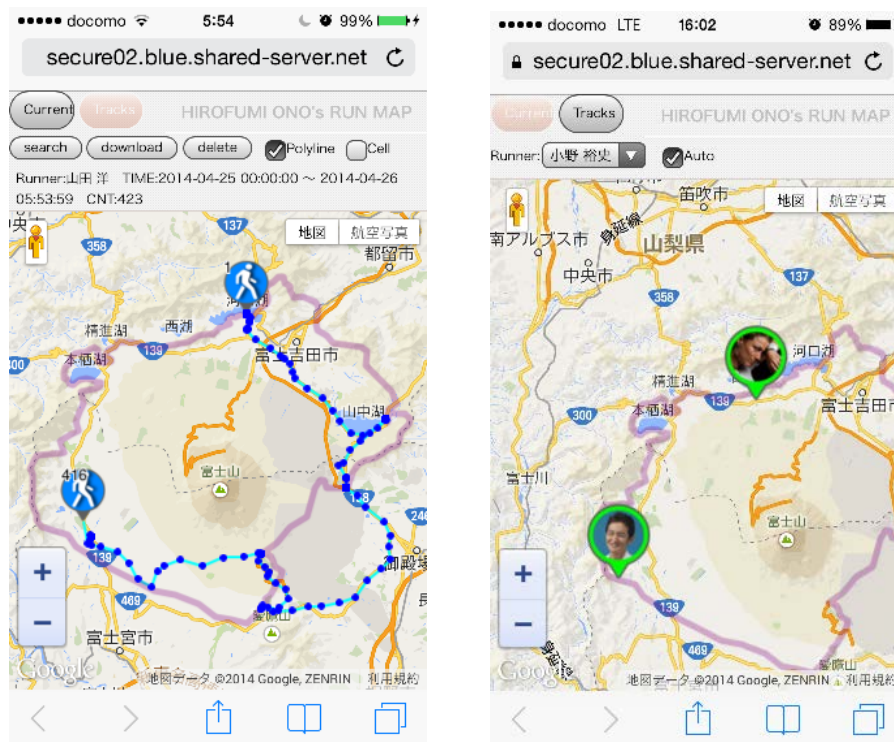


図 3-13 UTMF2014 で実験に使用したアプリケーション

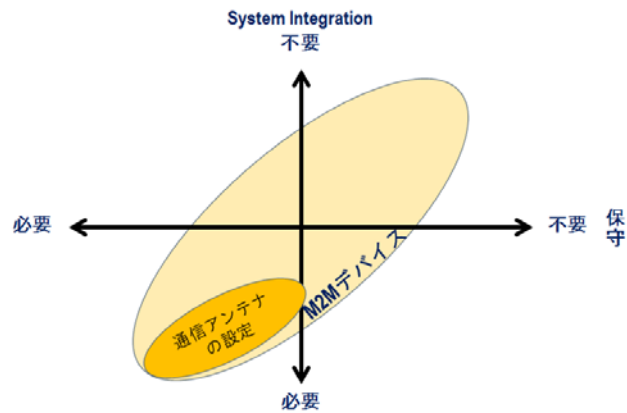


図 3-14 モバイル端末のバッテリー電圧確認アプリケーション

第4章 M2M デバイスの最適化

本章では、SI と保守の観点で分析した M2M デバイスの最適化について述べる。M2M デバイスをより汎用化するためには、知見により行っている通信アンテナの選択 (SI) や環境に応じた設定 (設置) による性能のバラツキを抑え、安定化させる必要がある。本章で

は通信アンテナの設定に関し知見による事前の選択をなくし、個別環境において保守を必要とせず容易な設置を可能にすることで M2M デバイスの課題の解決を試みる。



4.1 はじめに

携帯電話インフラの成熟や近距離無線通信を含むセンサネットワークの発達と共に、機器と機器をつなぐ M2M 市場も大きく広がりを見せてきた。M2M とはその名の通り”Machine to Machine”の意であり、無線を利用して人を介すことなく機器と機器が通信を行うことである[3][75]。その市場規模は 2010 年度には 418 億円、2011 年度には 473 億円と前年比 113.2%で成長しており、2010 年からの 6 年間においては、年平均成長率 18.4%、2016 年度では 1,152 億円の市場規模が見込まれている [76]。

ロングテールマーケットであるこの市場は、1 台あたりの月額平均単価が 7,357 円/月[77]とコストの高い携帯電話（従来のお客様）とは異なり、月単価は数百円/月からと低い ARPU や Acquisition Cost（顧客獲得コスト）および、アフターケアコストが求められる[78]。有線無線を含めた M2M 全体の潜在市場は、国内人口の 20 倍以上、数にして 31 億以上の需要が存在し[79]、既存製品の流用や適応範囲の広がりによって市場は好調に推移している。

無線を介してデータを送受信する M2M[80]では、通信アンテナ（以下、「アンテナ」という）（図 4-1）と通信モジュールおよび、通信を制御して異なるネ

ットワーク間を中継する各種インタフェースを装備したルータと併せて、1つの通信制御システムを構築している。

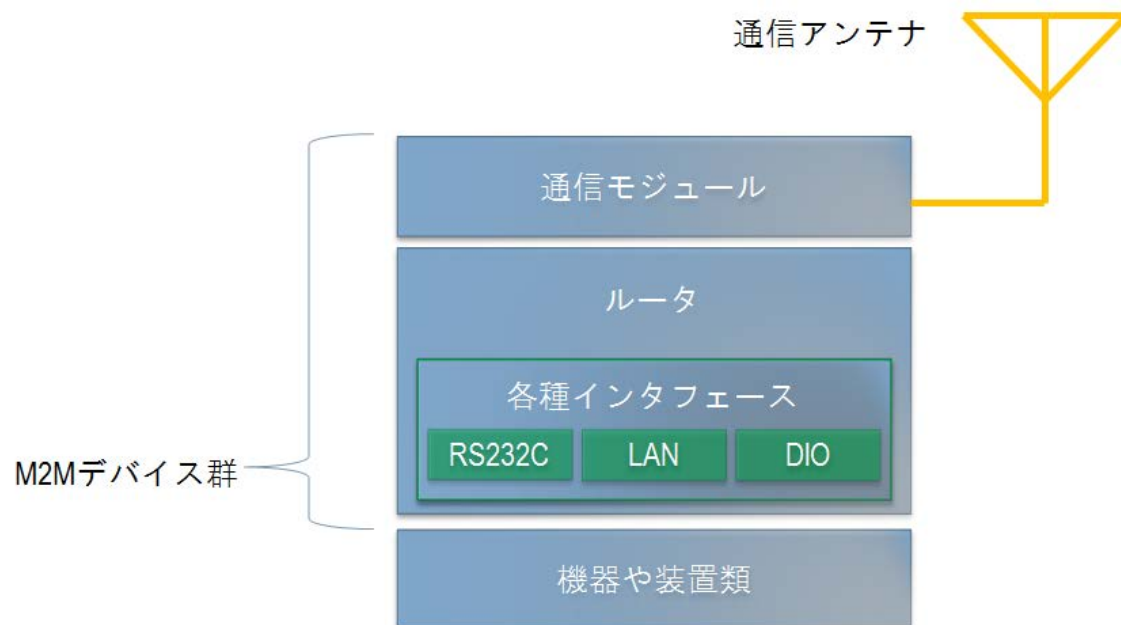


図 4-1 M2M デバイスにおける通信アンテナ

本章では前述したこのシステムをワイヤレス M2M ルータシステムと定義する (図 4-2, 図 4-3). ワイヤレス M2M ルータシステムと各種インタフェースにて接続されたマシンは、離れた場所にあるため、データの送受信に関して安定した性能を求められる。特に、本システムではアンテナを金属の近くに設置しなければならない、電波環境や設置スペースから、その都度設置環境に適したアンテナが個別に選択 (SI) されているのが現状である。これは、手間とコストのかかる汎用性を欠いたシステムであり、設置によっては運用時の保守に影響を与え、市場の拡大と潜在的な需要があるにも関わらず、これらが大きな導入障壁となっていた。本システムで使用するアンテナが、金属に設置しても安定した運用性能を維持することができれば、汎用的な利用や低コストが可能となり、導入障壁を下げられると考えた。

本研究では、飲料水の自動販売機に使用されているアンテナに着目し、金属に取り付けても運用性能を維持するシステムを開発し、汎用性と低コスト化を図ることで SI の導入障壁と保守の負担低減を試みた。従来までの自動販売機で

は、ワイヤレス M2M ルータシステムのアンテナを取り付ける場合、外部アンテナに比べ比較的成本の低い小型アンテナ（図 4-3, 図 4-4）が使用されてきた。しかし、従来の小型アンテナでは、金属に取り付けられることが想定されていないため、取り付け面が金属であった場合、アンテナの性能は劣化することがある[81]。アンテナ性能の劣化は自動販売機が電波環境の悪い場所に設置されることで致命的な運用性能の劣化となる。また、小型アンテナの取扱説明書[81]では、金属から 30mm 離してアンテナを取り付けるよう指示があるが、すべての取り付け業者が無線通信に知見があるとは限らないため、特別な取り付け作業を要し、内蔵・外部（外付け）問わず設置環境により取り付け位置が異なり、取り付け位置によりアンテナ性能が変化することは、既存システムにおける大きな不安定要因である。このため、電波環境の悪い設置場所においては、コスト高で外観は損なうものの、小型アンテナより不安定要因の少ない外部アンテナ（図 4-4）を機器の内外に設置していた。一方、金属に取り付けても安定した性能を発揮するアンテナとしては、パッチアンテナが考えられる[85]。しかし、国内 3G 網における使用周波数は 800MHz～2,100MHz と広帯域であり[86]、パッチアンテナでは小型化が難しく、立体構造となることから、コスト高となり採用が出来ない。



図 4-2 ワイヤレス M2M ルータシステム構成図

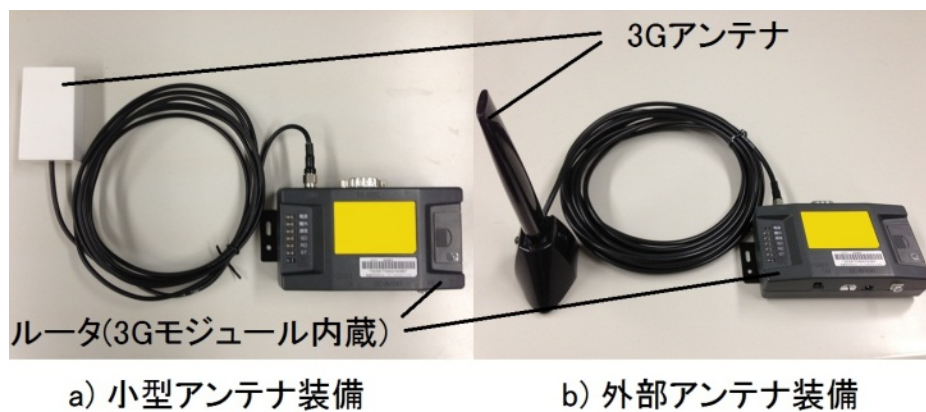


図 4-3 既存のワイヤレス M2M ルータシステム

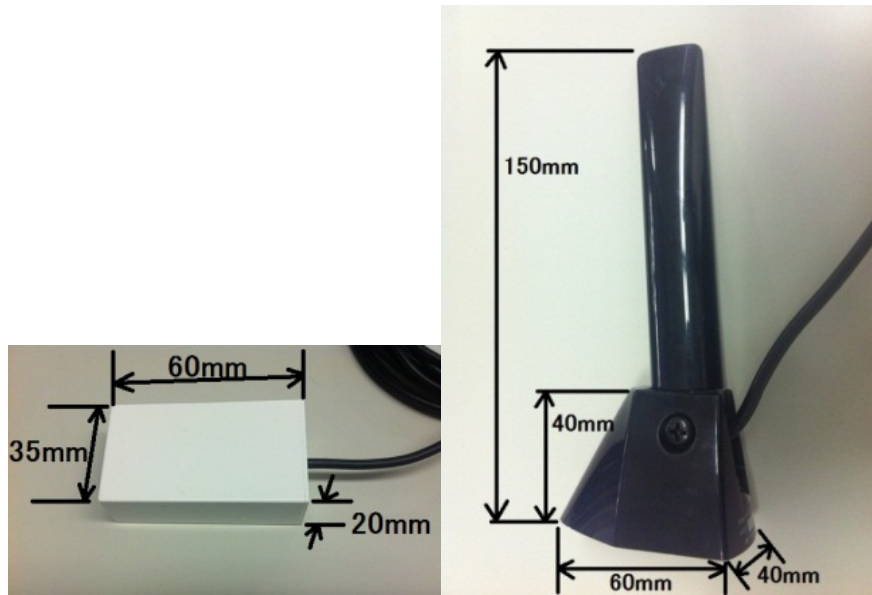


図 4-4 小型アンテナと外部アンテナ

4.2 提案手法

反射器を持たない無指向性のアンテナは、金属の影響を受けて性能が劣化することが多い[86]. 逆に、金属への影響を受けにくいアンテナを考えた場合、コスト高と広帯域対応が難しく、低い ARPU や Acquisition Cost (顧客獲得コスト) および、アフターケアのコストを考えると、これらアンテナはワイヤレス M2M ルータシステムでは採用できない. また、自動販売機への内蔵を求める以上、周囲の金属の影響すべてを排除することはできない. したがって、既存の小型アンテナや外部アンテナを用いたシステムでは、技術的な性能を追求するアプローチとなり、アンテナを金属に取り付けている以上、性能の劣化により技術的に最適な状態であるとはいえない. しかし、デバイス単体 (アンテナ) としては性能が劣化した状態でも、ワイヤレス M2M ルータシステムとして運用性能を十分満たすことができ、常に安定して使用することができれば、アンテナ性能のみを重視した既存システムと異なる観点をを用いながら、導入障壁を下げた新しいシステムが構築できると考えた. 通常、アンテナは金属から離すことで金属による影響を受けなくなる. しかし、取り付け位置の金属から離しても、金属に囲われた機器の中に取り付ける以上、今度は周囲の金属を考慮しなければならない. このため、技術的な性能を追求し、金属から離すアプ

ローチではなく、運用性能を十分満たすことができるかという観点に立ち、アンテナを金属にいかに近付けられるか、どのくらいの性能劣化であれば受け入れることができるのかという視点で検討を行う。

従来のワイヤレス M2M ルータシステムでは、コストを重視するあまり、コストは低い金属に弱い小型アンテナを図 4-5 に示すように商品陳列棚の内壁に取り付けていた。また、小型アンテナでは性能が低く通信のできない設置環境においては、アンテナの性能を重視した外部アンテナを図 4-6 に示すように取り付けられていた。したがって、本研究ではまず、コストの低い従来の小型アンテナが金属の影響でどれだけ性能が劣化しているかを調査し、アンテナと金属との距離を見直すことで、運用性能を満たしたアンテナを試作する。また、試作したアンテナと性能を重視した外部アンテナとの比較を行うことで、設置環境に左右されない汎用性の確認を行う。



図 4-5 自動販売機の金属面に設置された小型アンテナ



図 4-6 自動販売機の金属面に設置された外部アンテナ

4.3 プロトタイプの開発

まず、図 4-7 の放射特性測定環境にて、市販されている図 4-4 の小型アンテナを用い、金属板から一定の距離を離れた状態で固定した。その上でアンテナの正面を 0 度、背面を 180 度とし、0mm 離れた状態と、15mm、25mm 離れた状態とで金属板がアンテナの放射特性に与える影響を調査した（図 4-8）。離す距離が大きくなるほど金属の影響を排除できるが、商品を見せることを前提とする自動販売機では、アンテナが目立たないようにアンテナと金属板との距離を可能な限り近づける必要がある。

図 4-9 金属板のない自由空間で測定した放射特性を、図 4-10 にアンテナの背面に設置した金属板との距離を 0mm でアンテナを設置した場合の垂直面放射特性を示す。利得の単位は dBm であり、周囲の角度はアンテナの向きを示している。評価に使用した周波数は本システムで利用する代表的な周波数である。各周波数における放射特性（曲線）によると、金属板なしの状態では大きな弧を描いているのに対し、金属板あり（距離 0mm）では、背面の利得が小さく、小さな弧となっていることがわかる。これは、従来の小型アンテナは金属板に取り付けられることで大きく性能が劣化し、本来の性能をほとんど維持していない状況であることがわかる。特に 90 度、270 度における利得は 0 度と比較して大きく劣化している。商品陳列面内側に設置するアンテナ設置環境の自由度を大きくするには、少なくとも前面 120 度の範囲（300 度から 60 度）での利得の劣化を多くても 10dBm 程度に抑えなければならない。

次に、小型アンテナと金属板との距離を 15mm 離れた場合（図 4-11）と、25mm 離れた場合（図 4-12）の放射特性を示す。どちらも 0mm と比較して大幅に特性が改善され、離す距離が大きくなるほど曲線は自由空間に近づいていくことが分かる。また、金属板との距離を 25mm としたものと、15mm まで近づけたものの放射特性を比較すると、15mm まで近づけても、90 度、270 度における利得は悪いものの、前面 120 度の範囲では、0mm と比較して十分な放射特性が維持できており、金属とアンテナの距離を 15mm とすることが、金属との距離を可能な限り近づけた SI と保守の観点から最適化されたアンテナであると判断し、プロトタイプの試作を開始した。

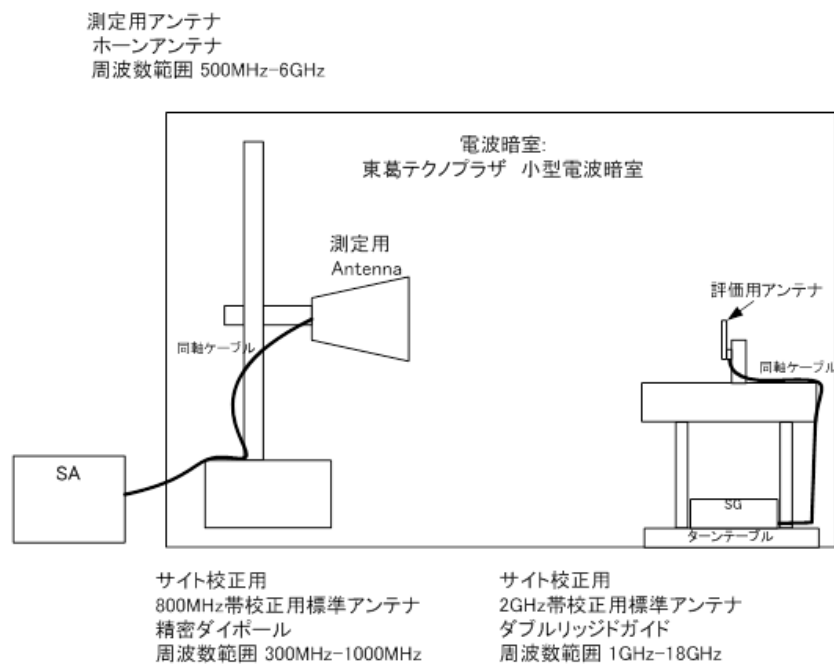


図 4-7 放射特性測定環境

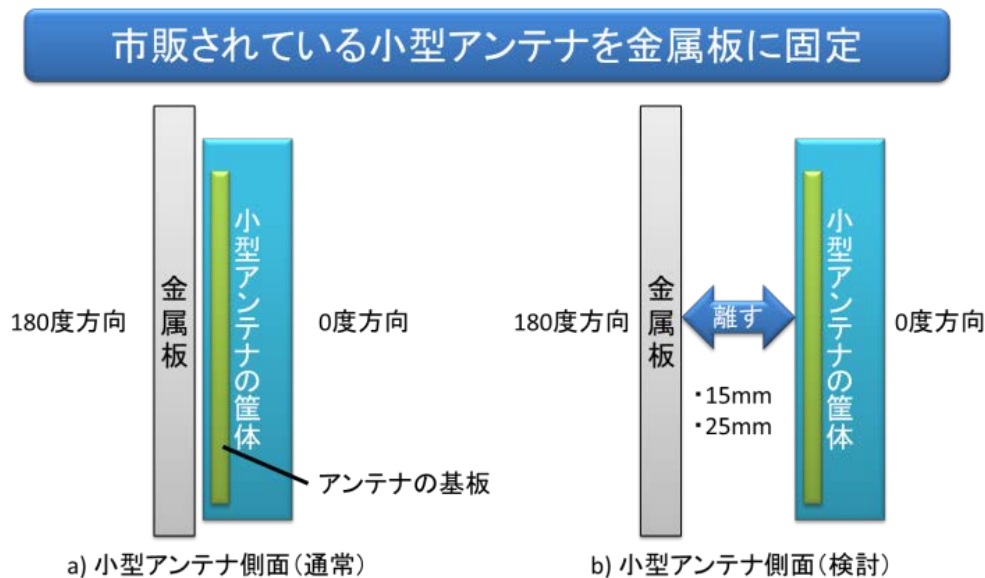


図 4-8 小型アンテナを使った実験

a) 小型アンテナ放射特性(金属板なし)

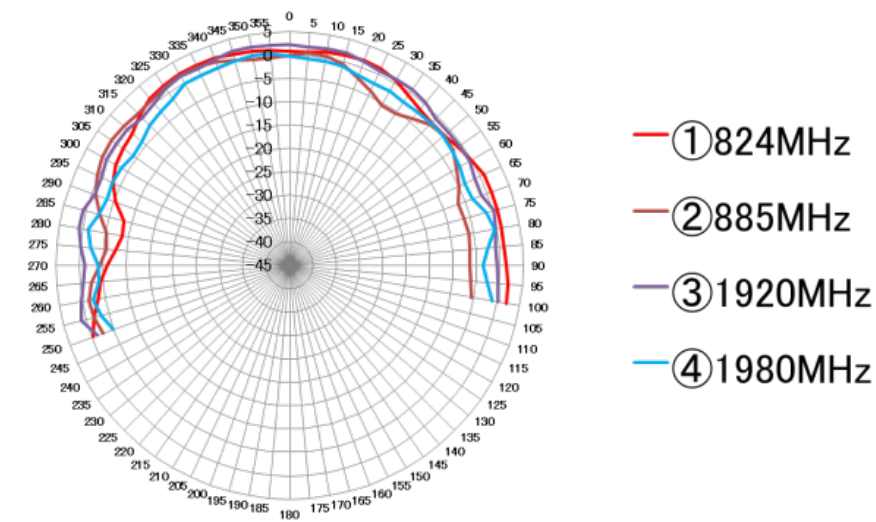


図 4-9 自由空間結果

b) 小型アンテナ放射特性(金属板あり 0mm)

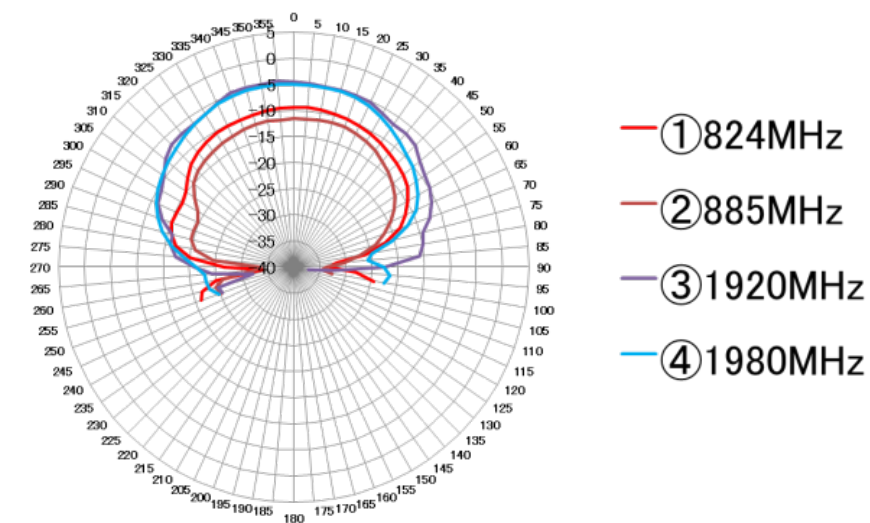


図 4-10 金属板あり (距離 0mm) 結果

a) 小型アンテナ放射特性(金属板あり 15mm)

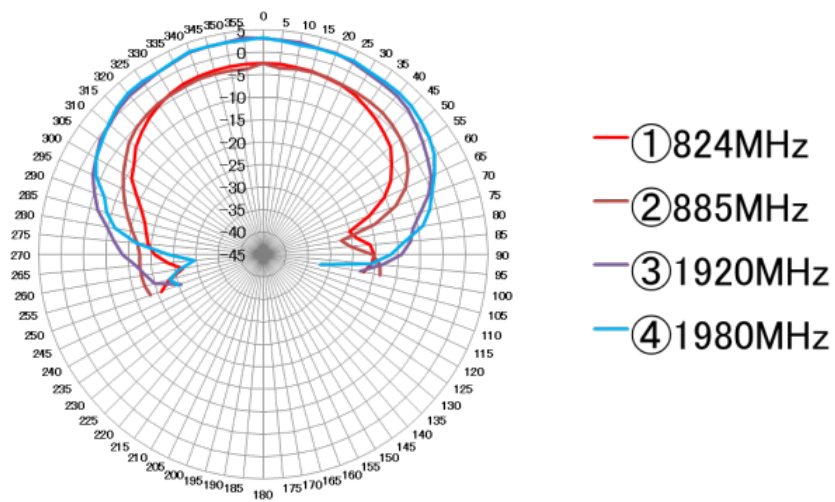


図 4-11 金属板あり (距離 15mm) 結果

b) 小型アンテナ放射特性(金属板あり 25mm)

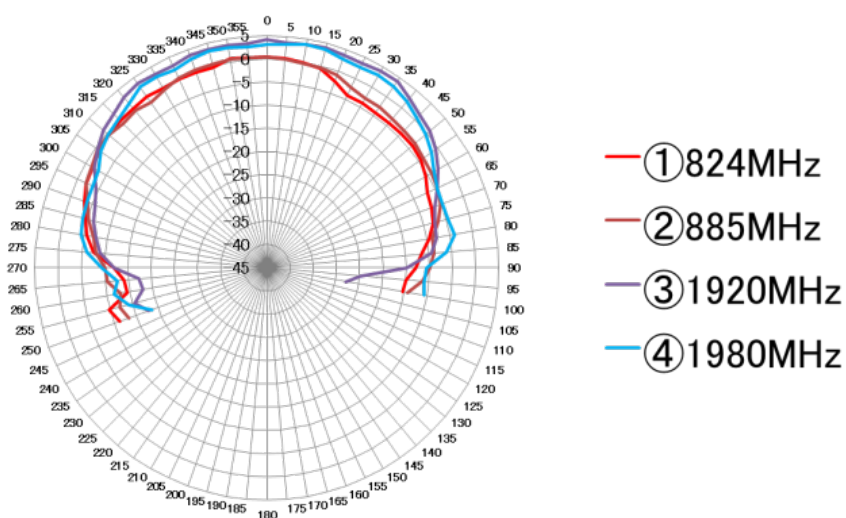


図 4-12 金属板あり (距離 25mm) 結果

前節の調査により、金属に弱い小型アンテナでも金属との距離を 15mm 離すことで改善が見られたが、金属を考慮した設計となっていないため、特別な取り付け作業を要し、設置環境により取り付け位置が異なるアンテナでは汎用性がない。よって、調査内容を踏まえ、金属への取り付けを想定したアンテナを試作し、検証した。

表 4-1 に通信に求められるアンテナの技術仕様を、表 4-2 に本システムの汎用性に求められるアンテナの仕様を示す。試作するアンテナは、低コストでかつ、800MHz 帯と 2100MHz 帯の離れた 2 つの周波数に対応する必要がある。したがって、基板のパターンのみで実現できるダイポールアンテナをベースにマルチバンド化[82][83][84]するため、 $\lambda/2$ ダイポール組み合わせアンテナ[87]を採用した。また、金属へ近付けた際の周波数変動やインピーダンスのずれに対応するため、アンテナ基板のパターンを太くした[88]。対応周波数の中で最も長い波長を持つのは 824MHz であり、その長さ (λ) は約 363mm、採用した $\lambda/2$ でも約 182mm となる。本システムの汎用性を実現するには、既存システムの中で一番長い外部アンテナと同等以下に収める必要がある。このため、アンテナエレメントを折り曲げてシミュレーションを行い (図 4-13) [89], $\lambda/2$ ダイポールの長さでアンテナの小型化 (長さの短縮) を図ることで要求されたサイズに収めた。また、シミュレーションではアンテナを金属に近付けた際の放射特性への影響を調べ、前方向に有効な放射特性となることを確認した[90]。図 4-14 に試作したアンテナの寸法図を、図 4-15 に実際に試作したアンテナ基板を示す。小型アンテナによる調査により、取り付け位置から 15mm 離すことで取り付け部が金属であった場合に有効であることが確認されているため、アンテナの筐体は図 4-16 のように 15mm 膨らませることで、距離を意識せずに取り付けられるよう設計した。試作したアンテナを測定周波数はシステムとして要求される各周波数帯の上限下限として以下の 6 波で測定した。

- 824MHz 800MHz 帯 下限
- 885MHz 800MHz 帯 上限
- 1920MHz 1900MHz 帯 下限
- 1980MHz 1900MHz 帯 上限
- 2110MHz 2100MHz 帯 下限
- 2170MHz 2100MHz 帯 上限

表 4-1 本システムに求められるアンテナの技術仕様

項目	規格	備考
型式及び構成	単一型(V), λ , $1/2\lambda$, $1/4\lambda$, $3/8\lambda$, $1/8\lambda$ のいずれか	
使用周波数	アップリンク : 824MHz~840MHz ダウンリンク : 869MHz~885MHz	800MHz 帯
	アップリンク : 1920MHz~1980MHz ダウンリンク : 2110MHz~2170MHz	2GHz 帯
特性インピーダンス	50 Ω	
V.S.W.R.	1.9 以下	
水平面内指向性	無指向性	
利得	3dBi 以下	2GHz 帯
コネクタ	SMA-P	
ケーブル	ケーブル長 : 2.5m	
耐電力	1W 以上	
使用温度	-20℃~90℃	
防水仕様	防水 : IPX6 相当	

表 4-2 本システム汎用性に求められるアンテナの要求事項

項目	規格	備考
金属板による影響	金属を背面に置いた状態でも，前面方向に対し自由空間同等の性能を有する	取付場所を選ばない
サイズ	縦 140mm x 横 25mm x 高さ 25mm 以内	縦方向を現行外部アンテナと同等以下，横方向を現行小型アンテナと同等以下，高さ方向を商品見本の半分以下
コスト	現行小型アンテナと同等	

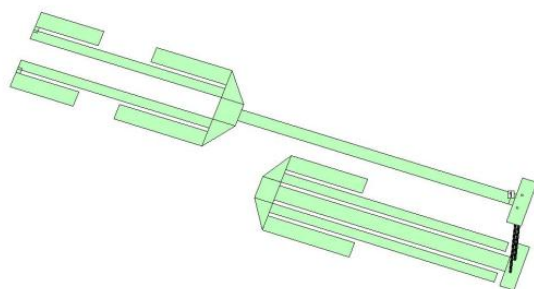


図 4-13 試作アンテナシミュレーションモデル

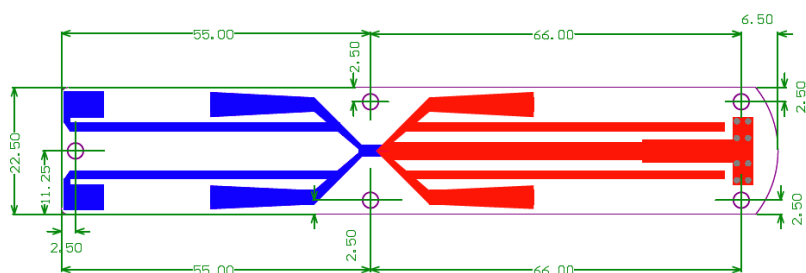


図 4-14 試作アンテナ基板寸法図

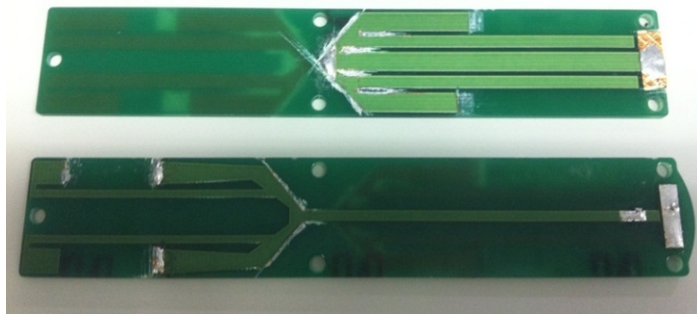


図 4-15 試作したアンテナ基板

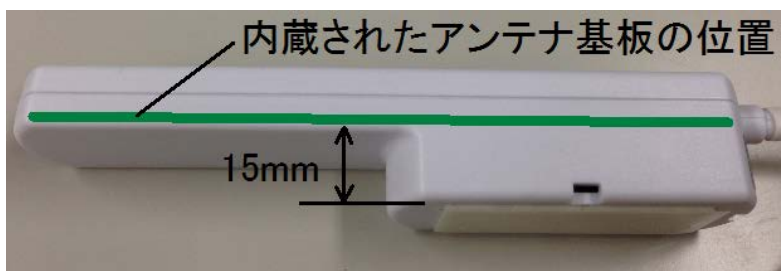


図 4-16 試作したアンテナの筐体

4.4 実験と考察

金属板のない自由空間における試作アンテナの放射特性を図 4-17, 金属板を背面に設置した場合の放射特性を図 4-18 に示す. 小型アンテナによる調査と同様に, 試作アンテナにおいても金属板ありでは 180 度方向 (後方) 及び 90 度, 270 度方向の放射特性が著しく劣化した. その一方, 0 度方向 (前方) においては金属板に取り付けている場合でも大きな劣化はなかった. また, 前方向 120 度の範囲 (300 度から 60 度) では前方向の最大値と比べると約 10dBm の差異が確認できた. これは, 本試作アンテナが前調査した小型アンテナと同等以上の性能を有していることを示している.

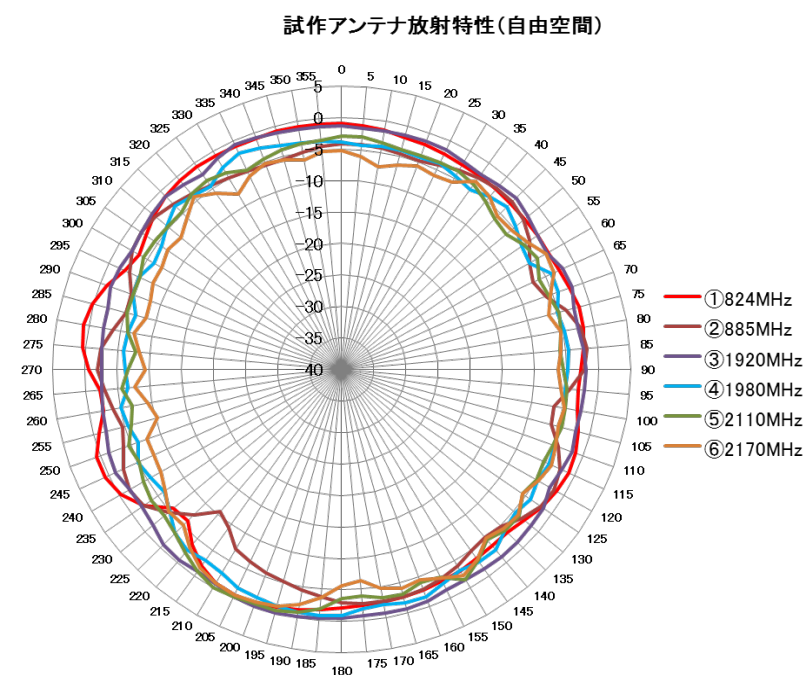


図 4-17 試作アンテナ放射特性 (自由空間)

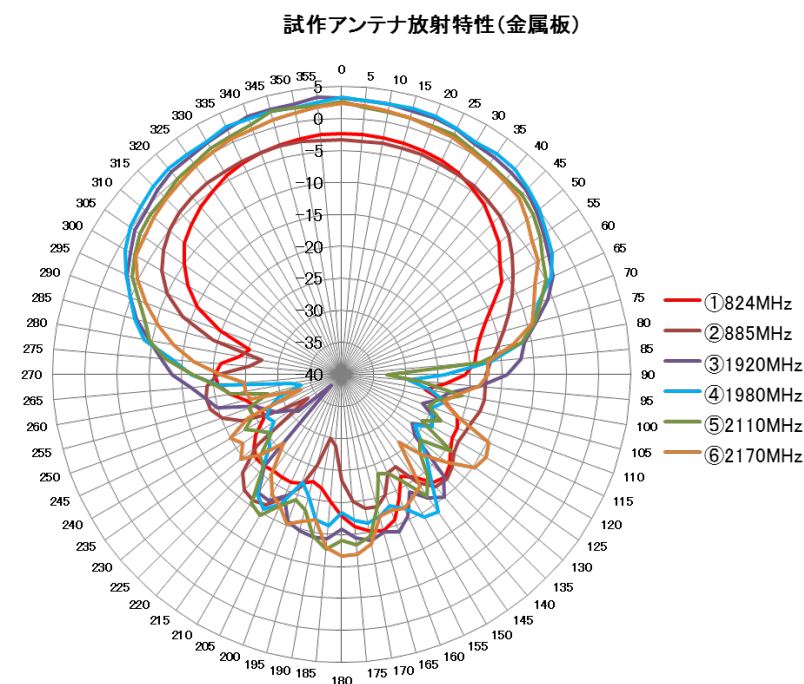


図 4-18 試作アンテナ放射特性 (金属板)

次に、試作アンテナと市販の外部アンテナにおける自由空間及び、金属板に取り付けた際の放射特性を比較した(図 4-19～図 4-24)。800MHz 帯の低い周波数(図 4-19, 図 4-20)においては、60 度 300 度の向きで試作アンテナは市販の外部アンテナと比較して 10dBm 程度の劣化が見られる。しかし、試作アンテナにおける金属板の有無で比較すると、前方 0 度および 60 度または 300 度の向きでは、5dBm 程度の劣化にとどまっており、システム側の出力調整により改善が可能と判断した。また、2GHz 帯の高い周波数(図 4-21～図 4-24)における前方向 120 度の範囲(300 度から 60 度)より後方で試作アンテナの自由空間のグラフと試作アンテナの金属板のグラフが交わっていることがわかる。これは、金属板に取り付けた場合でも、前方向 120 度の範囲では劣化が発生していないことを示している。また、外部アンテナと比較しても大きな劣化が認められなかった。よって、性能を重視した外部アンテナと比べても運用性能として遜色はなく、本試作アンテナを使用してシステムを構築することで、より汎用性のあるワイヤレス M2M ルータシステムの構築が可能である。

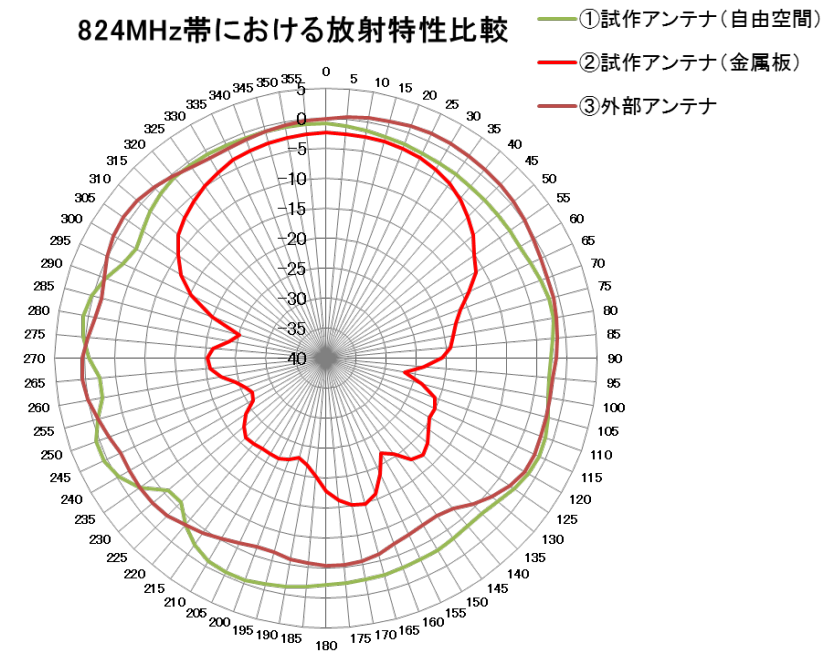


図 4-19 824MHz における放射特性比較

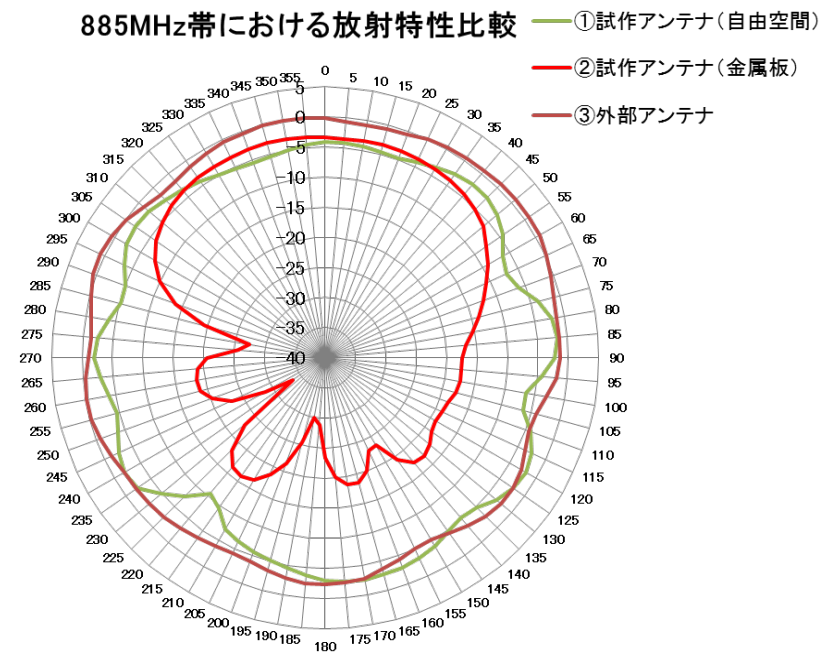


図 4-20 885MHz における放射特性比較

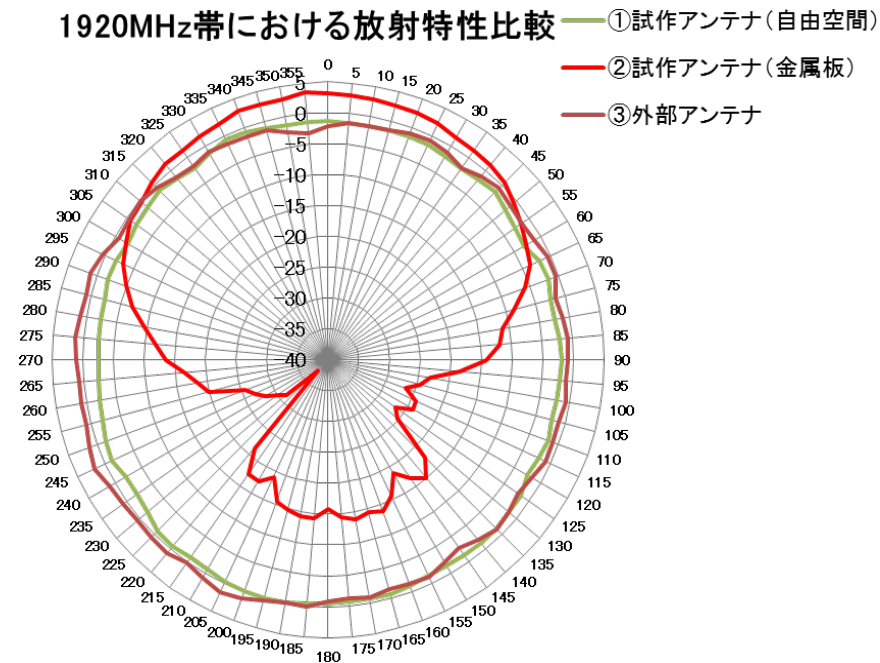


図 4-21 1920MHz における放射特性比較

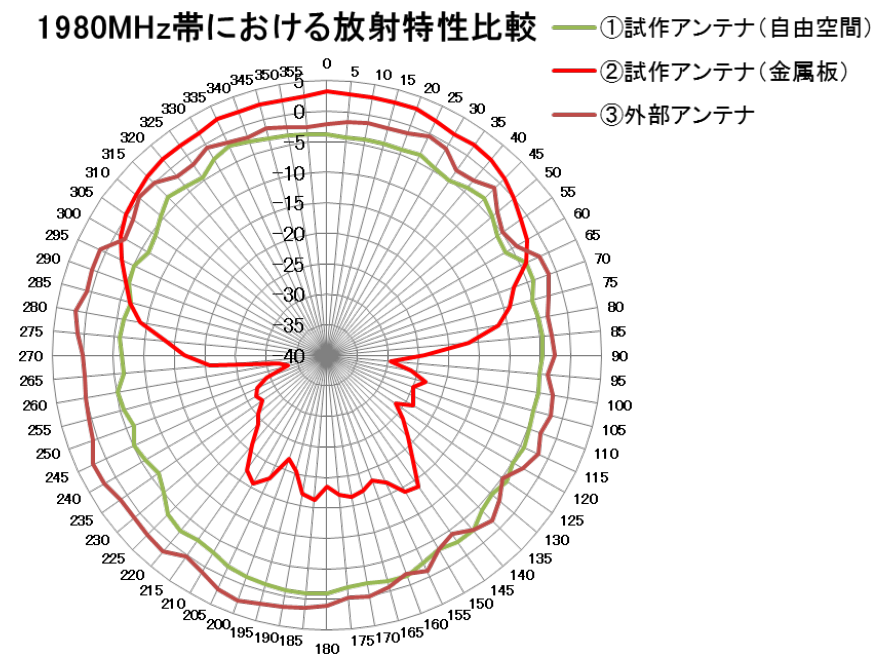


図 4-22 1980MHz における放射特性比較

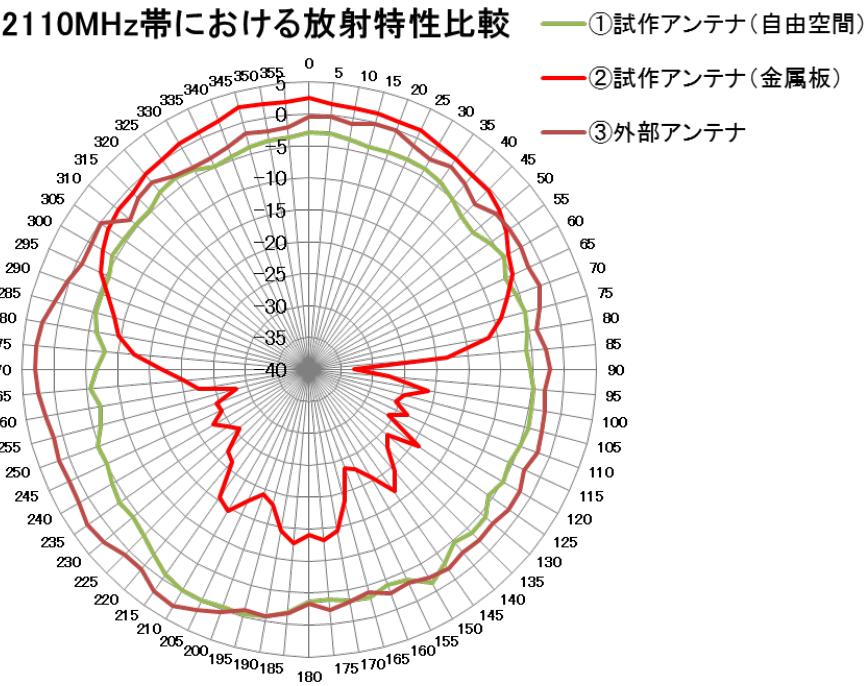


図 4-23 2110MHz における放射特性比較

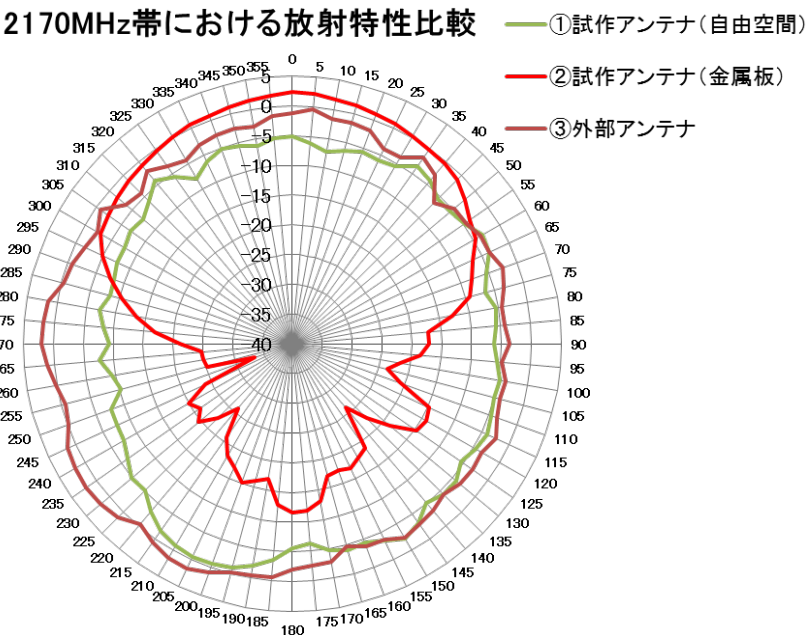


図 4-24 2170MHz における放射特性比較

システムとしての品質を確認するため、試作したアンテナを工場で生産し、ルータを組み合わせ、ワイヤレス M2M ルータシステム全体として品質を検証した。新しいワイヤレス M2M ルータシステムの仕様を表 4-3 および表 4-4 に示す。生産ではアンテナの接地面を増やし、取り付け部のストレスを軽減するため、図 4-25 のように長方形の構造とした。検証環境は生産した 3G アンテナをルータと接続し、ルータの LAN および RS232 インタフェースをパソコンと接続することで構築した（図 4-26）。また、検証では金属板の有無において RSSI（信号強度）、Ping 応答速度、スループットを品質評価パラメータとして測定した。測定結果を表 4-5 に示す。結果からもわかる通り、新しいシステムでは、金属板の有無によって性能に大きな違いが発生していない。これは、金属の影響によりアンテナの性能に劣化が生じるものの、金属を想定した設計と予め 15mm 離す工夫を加えたことで、金属に取り付けてもシステムとして十分な性能を保持することができたためである。新しいシステム（図 4-27）は低コストで製造できる設計を採用しており、金属に取り付けても前方方向に大きな性能の劣化がない。このため、既存システムで課題となっていた取り付け場所による不安定要因が解消され、汎用的なシステムとなった。また、このシステムは品質と性能の面においても十分実運用に適したシステムであるといえる。

表 4-3 新しいワイヤレス M2M ルータシステム仕様 1

構成	項目	規格
ルータ部	対応モジュール	HUAWEI 製 EM701 HUAWEI 製 EM770J NTT docomo 製 UM-01HW
	内部 I/F	PCI Express mini Card
	外部 I/F	LAN x 3 RS232 x 1 DIN x 1
	WiFi 規格	IEEE802.11n 1T1R
	WiFi 暗号化	WEP 64/128bit WPA/WPA2
	ルータ機能	DHCP サーバ DMZ サポート IP シェアリング MAC アクセスコントロール 最大接続数：256 マルチ BSSID
	電源	5V Φ2.1 DC ジャック
	サイズ	縦 116x 横 189x 高 30 (mm)
	消費電力	待受時：4W 動作時：5W (3G/WiFi/WAN/LAN 使用)
	温度・湿度	動作保証：0～50℃ 保存温度：-30～70℃ 湿度：10%～95%（結露なし）

表 4-4 新しいワイヤレス M2M ルータシステム仕様 2

構成	項目	規格
アンテナ部	型式及び構成	単一型(V), $1/2\lambda$
	使用周波数	824MHz～885MHz 1920MHz～2170MHz
	特性インピーダンス	50Ω
	V.S.W.R.	1.9 以下
	水平面内指向性	無指向性
	最大利得	824MHz : 1.0dBi 885MHz : -2.1dBi 1920MHz : 0.0dBi 2170MHz : -2.0dBi
	コネクタ	SMA-P
	ケーブル	ケーブル長 : 2.5m
	耐電力	10W
	使用温度	-20℃～90℃
	防水仕様	防水 : IPX6



図 4-25 試作アンテナと工場で生産したアンテナ

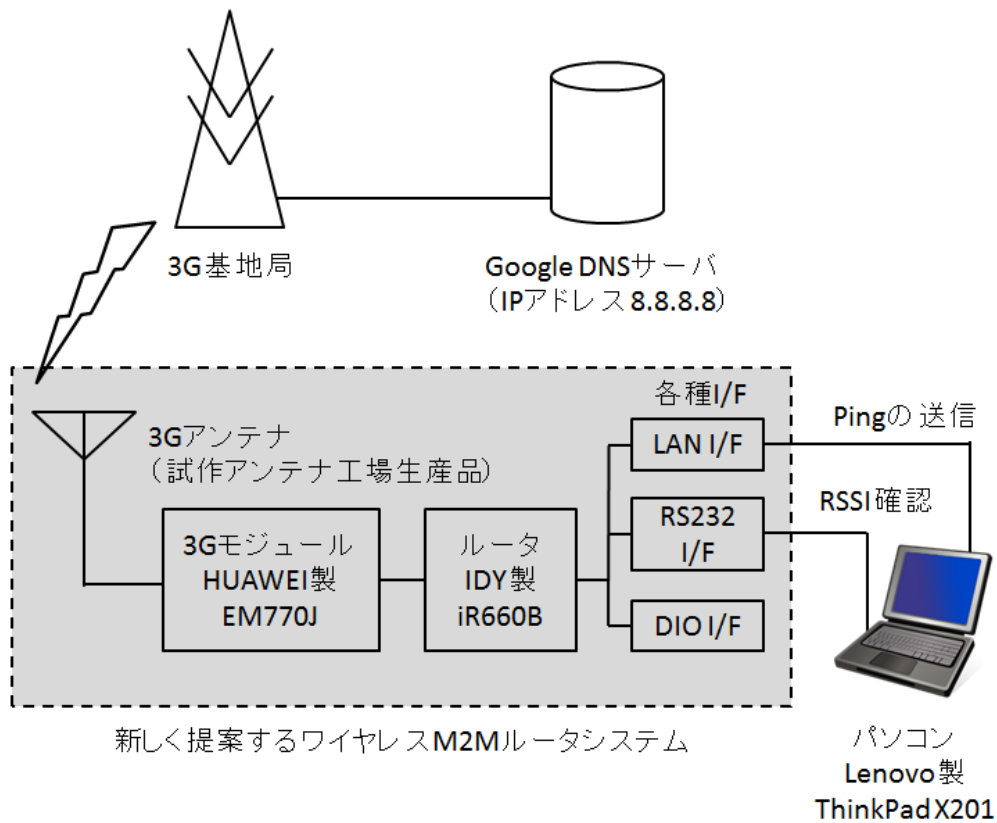


図 4-26 提案システムにおける品質測定環境

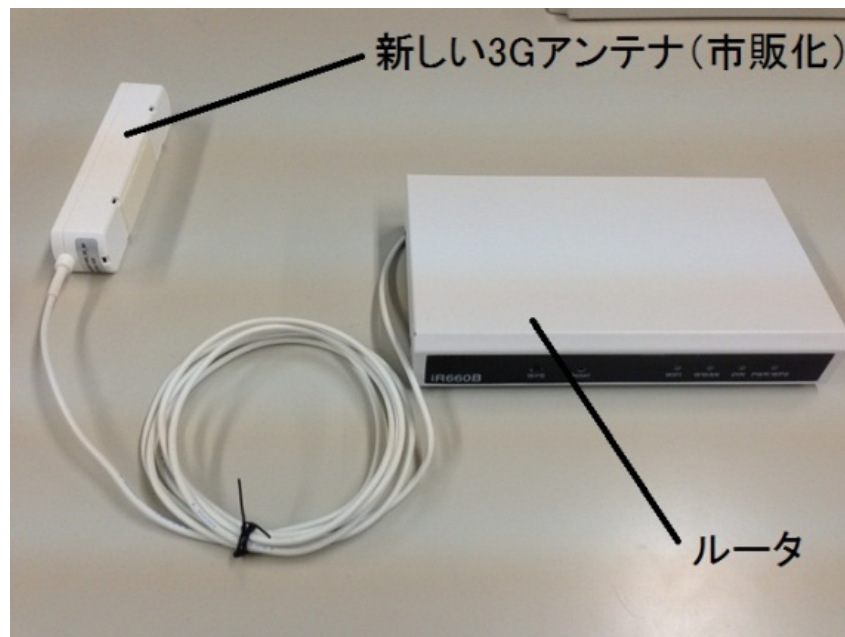


図 4-27 新しいワイヤレス M2M ルータシステム

表 4-5 提案システムにおける品質測定結果

アンテナ	金属板	RSSI 信号強度 (dBm)	Ping 応答 (ms)	Throughput Downlink (Mbps)	Throughput Uplink (Mbps)
工場生産	なし	-73	301	1.23	0.29
アンテナ	あり	-71	271	1.38	0.27

4.5 おわりに

現在の M2M 市場では、システムが既存製品の組み合わせで構成されるものが多く、個々の案件ごとに性能を調整 (SI) しなければならない問題を抱えていた。本研究では狭いスペースに取り付けられることの多い自動販売機に着目して研究を進めたが、設置場所が屋外や屋内など多岐にわたり、個別仕様や個別環境によりアンテナを選択・設置しなければならないことが導入障壁となっていた。また、設置環境に依存しない商品陳列面内側へ設置する場合、機器を覆う金属がアンテナの性能劣化を招き、汎用的なシステムを提供することが困難であった。そこで、金属の影響で性能が劣化するアンテナと、本システムで必要とされる性能のバランスを検証し、自動販売機として許容できるアンテナの劣化限界を検証することで最適化し、本システムとして十分な運用性能を維持できることを示した。本研究によって提案・検証された通信アンテナは、従来まで個別仕様と個別環境に合わせた SI を要していた課題を解決し、外部アンテナを用いなければ利用できなかった環境での使用が可能となった。特殊な設置方法や専門知識を必要としないため、設置における導入障壁を下げ、保守の負担を軽減した。SI と保守の観点から最適な性能を導くことで、知見による事前の選択 (SI) をなくし、個別環境において保守の負担を軽減する手法により、M2M デバイスの課題を解決し汎用性を高めることに成功した (図 4-28)。

今回、最適化手法により開発した通信アンテナは自動販売機のみならず広く利用が期待される。しかし、M2M や IoT を含めた無線によるネットワーク接続においては、個別の仕様や個別の環境に合わせる M2M デバイスへの要求は増加すると考える。本研究で用いた最適化手法を基に、M2M デバイスの汎用化に

Research on the optimization method for M2M systems.

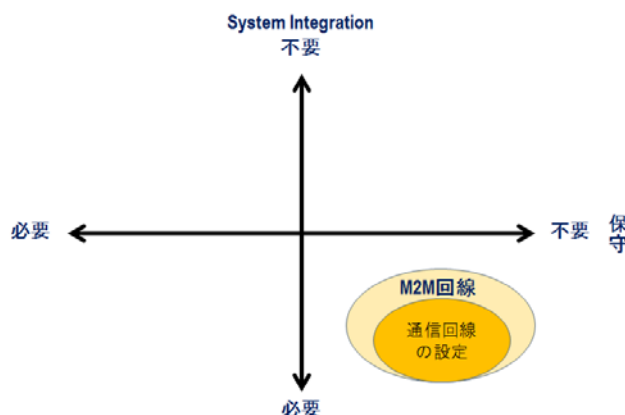
向け今後も検討を進めていく予定である.



図 4-28 市販化され導入されたアンテナ

第5章 M2M 回線の最適化

本章では、SI と保守の観点で分析した M2M 回線の最適化について述べる。M2M 回線は個別仕様に合わせた通信回線の設定（選択）が必要である。人による個別の保守が難しい M2M では、データの伝送を確実にを行うため、パソコンやサーバと同じく不要なデータの流入を防ぐ必要があるが、M2M では通信回線の設定に関する明確な指針が存在しない。本章では、M2M に最適な回線選択の指針を作ることで、M2M 回線の課題の解決を試みる。



5.1 はじめに

M2M では携帯電話など無線局の急速な増加と高速化により通信コストが下がり、スマートメータやセンサネットワークとの連携が現実味を帯びてきた。拡がりつつある M2M の分野では、垂直統合型による M2M プラットフォームや M2M クラウドなど環境整備や機器の充実が進み、M2M システムにおいてもより汎用化されたデバイスの開発が進められている。しかし、通信コストが下がり多様な回線を選択できる現在、SI と保守という観点で見ると汎用性のある M2M 回線は未だ提供されていない。

成熟した携帯電話市場では 1 人 1 台以上回線契約をしていることも多く、MNP (Mobile Number Portability) による安い回線契約へのシフトは通信料金の低下を進め、新しい収益を求める MNO・MVNO を M2M に着目させた[91]。M2M は ICT 分野において IoT とならび期待される市場であるが、M2M 回線にとっては未だ発展途上といえる。M2M は機器と機器との通信であるため、確実にデータを伝達する必要があるが、人による個別の保守も難しい。しかし、現在市場で選択されている回線は通信の帯域幅を狭く（通信速度を低下）して表面上のコストを下げたスマートフォンなど一般消費者向け回線である。通信回線の指針なく選択されている現在の M2M 回線は、課題を抱えたまま運用されている実情がある。

5.2 M2M 回線選択の現状

現在市場で選択できる M2M 回線はそのほとんどがスマートフォンやモバイルルータ向け低通信速度、低料金のプランを採用している。下りのデータダウンロードに通信速度の制限があり、その分通信料金が安く設定されているため、データ伝送量の少ない M2M[92]にとって安易に選択するサービス事業者が少なくない。M2M は人の数より数百～数千倍多いといわれ、一つ一つの機器においては通信に使用されるデータ量は少ない。しかし、人による個別の保守が難しいため、確実にデータを伝送する必要がある。現在は明確な M2M 回線の設定（選択）指針がないため、運用開始後の問題となっている。

2014 年 6 月現在、市場で契約できる M2M 回線は以下の 2 つに大別できる。

(a) 定額課金制

1. 通信速度制限
2. データ量制限
3. 利用時間制限

(b) 従量課金制

各種制限なし、パケット従量課金制

いずれの場合もネットワークを利用した通信であるため、通信速度はベストエフォートでの提供になる。また、定額課金制では同課金プランに加入した契約回線の総利用量が、MNO や MVNO の保持する通信量に近づくもしくは、超える場合、通信速度の制限が加えられることになる。この状況は定額課金制であればすべて同じである。

第 2 章で紹介した MVNO 最安値の A 社プランで考える。月々の 504 円の定額で 250Kbps の回線サービスを受けられるが、NTT ドコモ社の提供する安心パケット定額サービス[93]によると、1 パケットの料金は 0.05 円となっている。各通信事業者によって料金は異なるため一概にはいえないが、1 パケット 0.05 円で計算した場合、約 1.2MB で 504 円を超過する計算になる。第 3 章で開発し

た GPS からの位置情報を定期的にサーバに送信するデータ量を計算する。以下のように 1 回の送信に 260 バイトを使用している。実証実験で行った 30 秒毎に 1 回送信する場合、1 日 24 時間の通信量は 2,880 回 x260 バイトの 748,800 バイトである。1 ヶ月 30 日では 21.4MB になる計算となる。

POST /test320/gpstracker.php HTTP/1.1

Host: www.innoxdesign.com

Content-Length: 111

Content-Type: application/x-www-form-urlencoded; charset=UTF-8

IMEI=861311000484724&Satellite=4&Time=200214

17:50:08&Lat=35.69044&Lon=139.69212&Speed=1.00&Head=1&Voltage=4
222

実際には月に 21MB を使用されて破綻する通信事業者は存在しないが、定額で通信を利用できるということは、通信事業者の容量を超えた利用が増えた場合には通信が停止されなくとも大幅な通信量の制限により通信困難な状況になることがわかる。M2M のサービスはそのほとんどを事業として行っている。つまり、サービスを提供している以上、通信が途切れることはサービスの停止を意味する。サービス事業者としてはこのような通信回線の制限は通信回線の設定（選択）により回避すべき事象なのである。

仮に 1 パケット（128 バイト） 0.01 円とすると、約 6.1MB で 504 円を超過する。

また、パソコンやサーバではセキュリティ対策としてインターネットからの不要なデータやアクセスを防ぐ対処が行われている。一般的な手法ではパソコンにインターネットセキュリティスイートと呼ばれるセキュリティ対策ソフトウェア（総合セキュリティソフトウェア）をインストールする方法や、Well-Know Port と呼ばれる用途が決まったポートに対するアクセスを制限する方法などがある。最近では Android 搭載のスマートフォンが普及する中、

Android 向け総合セキュリティソフトウェアが登場してきた。しかし、パソコンやスマートフォン向けの通信回線を選択している M2M では、インターネットからの不要なデータやアクセスに関する指針は設けられていない。

5.3 提案手法

SI と保守の観点では M2M 回線の現状は最適であるとはいえない。運用時のコストは大事だが、M2M は本来、人による個別の保守が難しく、データ伝送を確実に行わなくてはならないため、個別仕様に合わせた通信回線の設定（選択）や、パソコンやサーバと同じく不要なデータの流入を防ぐ必要がある。そこで、現在選択が可能な定額課金制と従量課金制を比較し、それぞれの優位性から M2M 回線に適した回線に求められる指針を出す。定額課金制と従量課金制のイメージ図を図 5-1、図 5-2 に示す。

また、通信回線には IP 種別があり、Private IP Address と Global IP Address が存在する。Private IP Address とは会社や家庭内などで一意に割り当てられる IP アドレスであり、JPNIC（社団法人日本ネットワークインフォメーションセンター）に申請することなく自由に設定して利用することができる。Global IP Address とは、インターネットに接続された機器に一意に割り当てられる IP アドレスであり、ICANN（The Internet Corporation for Assigned Names and Numbers）や JPNIC で管理されている。M2M 回線では選択する回線によってこの IP 種別が異なる。

本研究では、IP 種別の違いによるインターネットからの不要なデータの流入に関し第 4 章で開発したワイヤレス M2M ルータシステムを使い、調査を行う。また、調査結果を分析することで、定額課金制と従量課金制による最適な回線選択の指針を明確にする。

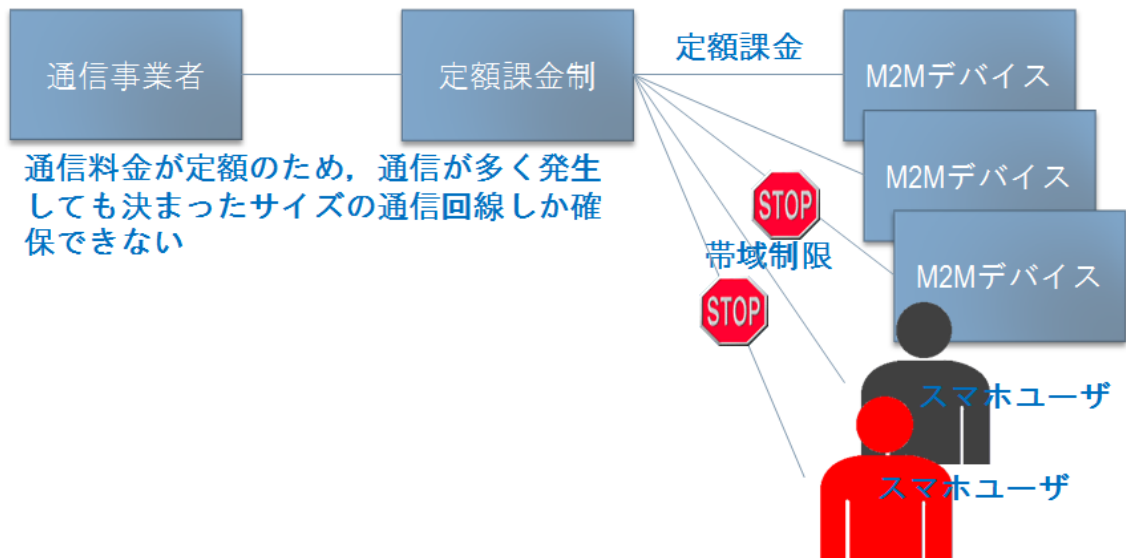


図 5-1 定額課金制の課金イメージ

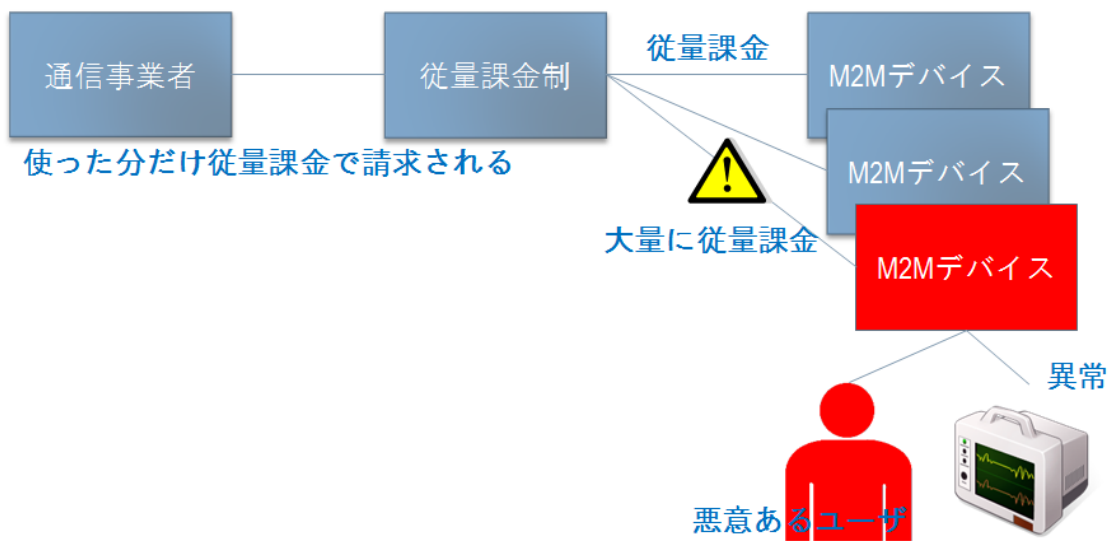


図 5-2 従量課金制の課金イメージ

5.4 実験と考察

M2M 回線には Global IP Address（以下、「Global IP」）を使用している SIM と、Private IP Address（以下、「Private IP」）を使用している SIM の 2 種類あるため、それぞれの SIM を使用した通信記録を各 12 時間ずつ取得し、Well-Known Port とそれ以外に分けてインターネットからの不要なデータの流入に関して比較を行った。実験に使用した構成図を図 5-3 に、実際の調査環境を図 5-4 に示す。

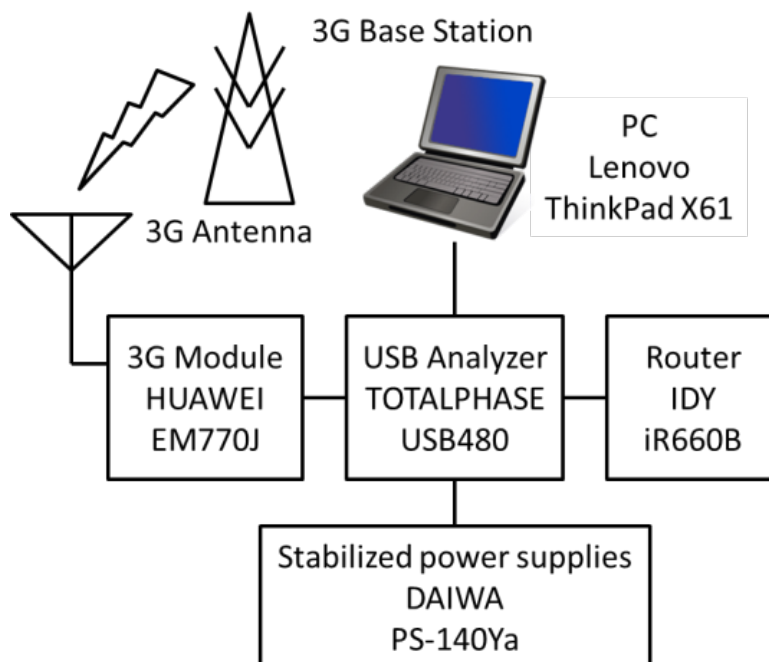


図 5-3 構成図

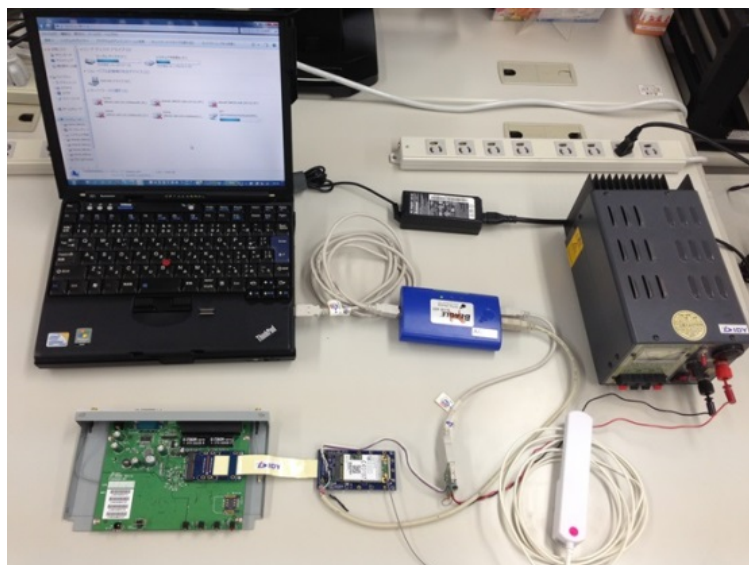


図 5-4 調査環境

以下は、インターネットからの不要なデータの流入を調査したものである．
実際に送信が確認された IP Address は非公開とさせていただき，送信が確認された IP Address から IP Address が割り当てられている国を記述した．

Test date: 2012/06/18 21:39 - 2012/06/19 10:06

Result: Total 100 packets

表 5-1 Global IP 時の不要なデータ受信

Kind of Port	Items	Received Count
Well-Known Port	ms-sql-s	8
	ms-wbt-serve	5
	telnet	8
	Smtpt	1
	Pmdfmgt	1
	targus-getdata1	1
	Ssh	2
	z39-50	2

Research on the optimization method for M2M systems.

	http	2
	Mcntp	1
	sybase-sqlany	1
	ctp-state	1
	ewdgs	1
	remotedeploy	1
	cisco-sccp	1
	Issd	1
	http-alt	1
	swispol	1
	https	1
	Dns	2
Others	-	13

表 5-2 Global IP 時の不要なデータ受信 (詳細)

Sender Country	Total Byte	Frequencies
China	1553	28
United States	437	6
Holland	240	4
Germany	212	4
Turkey	160	3
Taiwan	120	2
South Korea	67	1
Luxembourg	59	1
Saudi Arabia	56	1
Belgium	55	1
Uruguay	55	1
Canada	53	1
Russian Federation	53	1
Hong Kong	53	1

次に、Global IP 同様、Private IP においてもインターネットからの不要なデータの流入を調査した。

Test date: 2012/09/06 18:31 - 2012/09/07 13:08

Result: Total 8 packets

表 5-3 Private IP 時の不要なデータ受信

Kind of Port	Items	Received Count
Well-Known Port	-	0
Others	-	4

表 5-4 Private IP 時の不要なデータ受信（詳細）

Sender Country	Total Byte	Frequencies
United States	287	1
South Korea	94	2
Japan	59	1

調査データから、調査期間内においては Global IP で契約している SIM 宛に飛んでくる不要なデータは、Well-Known Port 宛のものが 76%であり、送信国は多様である。しかし、Private IP では Well-Known Port 宛に流入してくる不要なデータは 1 つもない。送信国はアメリカ (Google)、日本 (NHN Japan)、韓国 (NHN Corp.) のみであった。Global IP を使用している場合、一方的に飛んでくるデータの大半は Well-Known Port 宛であり、セキュリティ対策が行われていない（閉じられていない）ポートを狙った悪意のあるデータである可能性が高い。Private IP では、送信元が Google または NHN (LINE の運営会社) であり、送信先も Well-Known Port ではない。よって、本調査で利用した通信回線は Private IP を割り当てていることから、同じ通信回線を設定（選択）しているスマートフォンにおいて、インストールされているアプリケーションが無作為データを送信し、同じアプリケーションのインストールされたスマート

フォンを検索していると考えられる。

M2M では 24 時間 365 日の運用が求められる。したがって、運用に適したコスト、セキュリティを考慮して利用する通信回線を選択する必要がある。調査した各 12 時間の不要なデータの流入量から 1 ヶ月の総データ量を計算すると、Global IP では 5519 バイト、約 43 パケット（1 パケット 128 バイト換算）。1 日に 86 パケットとなり、30 日で 2580 パケットがインターネットから流入していることになる。同様に、Private IP では 30 日間で約 300 パケットとなった。

したがって、Well-Known Port を閉じていれば、Global IP と Private IP のどちらにおいても、運用に適した仕様とコストで便利な方を選択して良いと思われる。また、定額課金制と従量課金制においては、通信回線の停止や通信速度の制限により十分なサービスの提供に不安がある場合、Well-Known Port を閉じた上で従量課金制の選択が有効である。

今回、Global IP において Well-Known Port を閉じない状態でも調査を行った。表 5-5 にインターネットからの不要なデータ（パケット）の流入記録を示す。M2M において Well-Know Port を閉じずに 24 時間試験を行った結果、通信セッションが閉じられず、絶えず不要な（要求しない）データの流入が確認された。データの流入は通信回線から強制的にセッションが切断されるまで継続している。

Listen されていない Port に要求していない不要なデータが流入した場合、送信受信データは共に同じぐらいのパケット数になる。今回の調査環境では Listen Port を生成できるのは、telnet と ntp クライアントおよび、DNS のリゾルバだけである。このため、本結果は Listen されている Well-Known Port である telnet に対して不正なアクセスがあったものと推測される。結果的に 1 セッション 24 時間の送受信を合わせると、714 万パケット（約 872MB）もの不要なデータが不正アクセスによって発生した。

表 5-5 Global IP Well-Known Port への不正アクセス

セッション開始時刻	セッション終了時刻	送信パケット数	受信パケット数
2012/6/10 1:19:49	2012/6/11 1:19:49	165955.3	6977849.5
2012/6/11 1:21:18	2012/6/11 2:00:30	4328	815.7

これらの考察の結果，得られた指針は以下のとおりである．

- (a) 通信回線の一時的な停止や通信速度の制限が提供するサービスの質に影響を与えない場合：
- 定額課金制と従量課金制のどちらも選択可能
(月のパケット数が 10 万パケット未満の場合，従量課金制を選択)
 - Well-Known Port を閉じる
- (b) 通信回線の一時的な停止や通信速度の制限が提供するサービスの質に影響を与える場合：
- 従量課金制を選択
 - Well-Known Port を閉じる

なお，不要なデータの流入によるパケット量の増加を防ぐためには，前述した Well-Known Port を閉じた上で，将来的に通信モジュール側での IP フィルタリング機能やルータから通信対象外の相手への Destination Unreachable を停止することが考えられる．M2M は対称となる通信相手が限定されており，想定されていない相手との送受信は不要なパケットを増加させ，システムの安定を妨げる可能性があるためである．



図 5-5 TCP/UDP でのパケット制御提案

5.5 おわりに

現在の M2M 回線は、IP 種別、課金種別など通信事業者やネットワークごとに回線が複数存在し、容易にスマートフォン向けの定額課金制 SIM が選択できる。しかし、M2M ではスマートフォンなどの一般消費者向けサービスと異なり、人による個別の保守が難しい。このため、データの伝送が確実にでき、かつ不要なデータの流入を防ぐ必要がある。本研究では、Well-Known Port を閉じていれば、Global IP と Private IP のどちらにおいても、運用に適した仕様とコストで便利な方を選択して良いと思われる。また、定額課金制と従量課金制においては、通信回線の停止や通信速度の制限により十分なサービスの提供に不安がある場合、Well-Known Port を閉じた上で従量課金制の選択が有効である。携帯電話の利用料金が月額平均単価 7,357 円/月[77]とすれば、M2M ではその 1/10～1/20 とならなければ普及は進まない。従来までの選択方法では最適な M2M 回線の設定は行われていなかった。本研究により SI と保守の観点で提供されている通信回線を調査することで M2M に最適な回線を選択する指針を明確にすることできた。これにより、M2M 回線における課題を解決し、M2M の汎用性を高めることに成功した。

本研究により、MVNO による新しい通信回線が多く提供されていることが判明した。スマートフォンの普及と新しいサービス、アプリケーションの登場は、M2M を進めて行く中で、新しい課題の到来を意味している。今後も指針の見直しを図り、M2M 市場の益々の発展を期待するものである。

第6章 結論

本稿では、普及の進んだ広域の携帯電話網や新しい技術開発が進む近距離無線通信技術と合わせ、ICT の中でも M2M による新しいサービスが期待されていると説明した。また、本研究による分析で SI と保守の観点で課題があることが明確になった。

第 2 章で行った 4 象限マトリクスによる分析では、第 1 象限が最も汎用的で運用に適している。本稿では M2M システムを SI と保守の観点で汎用性を高めるため、プロトコルの設定、通信アンテナの設定および通信回線の設定に関して最適化という手法を用いて課題の解決に導いた。

M2M インタフェースにおけるプロトコルの設定では、従来は IP による通信で収集したデータや遠隔制御を行っていたが、数の多い M2M において事前設定 (SI) は負担であった。そこで、IP と SMS を併用したプロトタイプを開発し実証実験を行った。結果、SMS では事前の設定 (SI) が不要となり、保守においては IP を使って大きなデータの送受信も可能となった。IP と SMS を最適な形で利用する手法は、M2M インタフェースの課題を解決し汎用性を高めることに成功した。

M2M デバイスにおける通信アンテナの設定では、従来は通信アンテナの設計性能を保つため知見を基にした最適な機種選択 (SI) と、環境に合わせた正確な設置 (保守) が負担となっていた。そこで、専門的な知見を必要とせず、誰でもどんな場所でも容易に使える仕組みを通信アンテナに求められる運用性能を検証し、プロトタイプを開発して実証実験を行った。結果、アンテナを金属に近付けてはいけないという従来のアプローチではなく、金属に近付けても運用性能を満たす距離を最適化し、課題を解決することに成功した。

M2M 回線における通信回線の設定では、従来まで明確な指針のなかった通信回線の選択において運用に適さない選択が行われていることが事前の回線選択 (SI) における課題であり、運用時のトラブル (保守) における課題であった。そこで、現在選択が可能な通信回線の課金や IP 種別を調査し、プロトタイプを用いて実証実験を行った。結果、Well-Known Port を閉じていれば、Global IP と Private IP のどちらにおいても、運用に適した仕様とコストで便利な方を選択して良い指針を明確にすることができた。また、定額課金制と従量課金制の

選択においても、M2M で提供するサービスを踏まえて選択することで運用に最適な通信回線を選択できることを示せた。

以上から、SI と保守の観点から最適化という手法を用いて課題の解決を試みた結果、M2M システムの汎用性を高め、M2M の導入障壁を下げることに成功した。また、本研究で得られた成果は、低コストで汎用性のあるアンテナとして、自動販売機向けの既存システムにも採用が決まり、現在までに累計 16 万台（A 社向け 13 万台、B 社向け 3 万台：2013 年 3 月現在）が出荷され、活用されている（図 4-28）。さらに、M2M 回線選択に関する指針を明確にしたことで、様々なシステムへの提案を容易にしたワイヤレス M2M ルータシステムは、現在までに累計 10,000 台（2014 年 2 月現在）が出荷され、コインパーキング精算機システム、HEMS および BEMS のエネルギー監理システム[94]、メガソーラーシステムの電力量確認システムへ順次導入が続いている。

M2M は機器と機器をネットワークに接続する技術として広がったが、現在注目されている IoT においても同じ技術が利用できる。本研究が M2M の普及に貢献し、広がり続ける ICT 分野の益々の発展に寄与することを期待する。

謝辞

本論文は筆者が公立はこだて未来大学大学院 システム情報科学研究科 博士（後期）課程 情報アーキテクチャ研究領域に在籍中の研究成果をまとめたものである。情報アーキテクチャ学科 教授 高橋修先生には指導教官として本研究の実施，論文の執筆にあたり多大なるご指導をいただいた。この場をお借りして深謝の意を表する。

情報アーキテクチャ学科 教授 姜暁鴻先生，教授 藤野雄一先生，複雑系知能学科 教授 三上貞芳先生には副指導教官として本論文の執筆にあたり多くの知識や示唆を頂いた。心より深謝の意を表する。

情報アーキテクチャ学科 准教授 白石陽先生，助教 中村嘉隆先生には本研究および情報処理学会，CDS 研究会において有益な助言・ご指導いただいた。ここに深謝の意を表する。

株式会社富士通研究所ヒューマンセントリック研究所 主管研究員 森信一郎博士には本研究全般においてご指導をいただくと共に，本論文執筆にあたり多大なるご指導をいただいた。ここに深謝の意を表する。

本研究の実施にあたり技術的なご支援をいただいたサン電子株式会社 部長 小嶋修氏には本研究を進める上で多大なるご支援をいただいた。心から深謝の意を表する。

株式会社ワイヤレスデザイン 代表取締役 鎌田浩史氏には，本研究の調査・実験においてご助言，ご支援をいただいた。ここに深謝の意を表する

東京コンピュータサービス株式会社東戸塚システム開発センター ネットワークシステム事業統括本部 課長代理 代田恒雄氏には本研究実施にあたり有益なご助言とご協力をいただいた。ここに深謝の意を表する。

株式会社コー・ランナーズ 代表取締役 木村雅弘氏，同取締役 森保和敏氏，山田洋氏には本研究実施にあたり多方面でご助力をいただいた．ここに深謝の意を表する．

本研究の実証実験における被験者を快く引き受けてくださり，多大なご助力をいただいた岡田隆氏，樺澤秀近氏，小野裕史氏に心から感謝の意を表する．

ソフトバンクモバイル株式会社 IT サービス開発本部 M2M クラウド事業開発室 室長 山口典男氏には，本学に進学する機会を与えていただき，また，本研究を進める上でご助言ご支援をいただいた．心より感謝の意を表する．

株式会社 IDY 中嶋洋氏，川津武志氏，近藤弘康氏，巽千夏氏，石川さゆり氏，中山陽介氏，村上一生氏，勝倉秀一氏には，本研究の全般において多大なるご支援をいただいた．ここに深謝の意を表す．

株式会社 IDY 山田朋子氏には筆者が本研究を進めるにあたって多方面でご助力をいただいた．心から感謝の意を表する．

最後に，家族には大学院在学中全般において多方面で支援をいただいた．この場を借りて心から感謝の意を表する．

参考文献

- [1] L. Atzori, A. Iera, and G. Morabito, "The internet of things : A survey," Elsevier Computer Networks, vol. 54, no. 15, pp. 2787-2805, Oct. 2010.
- [2] 藤江良一, 大塚晃, 曾我部靖志 : M2M と通信制御技術 (ワイヤレスインターネット, マルチホップネットワーク, メッシュネットワーク, ネットワーク符号化, クロスレイヤ技術, 無線通信及び一般). 電子情報通信学会技術研究報告. IN, 情報ネットワーク, 2013, 113.36: 37-42.
- [3] G. Wu, S. Talwar, K. Johnson, N. Himayat, and K.D. Johnson, "M2M: From mobile to embedded internet," IEEE Commun. Mag., Vol.49, no.4, pp. 36-43, April 2011.
- [4] 安田明生 : GPS 技術の展望.s.1, 電子情報通信学会誌, Vol. J84-B, No. 12, pp. 2082-2091.
- [5] 布施田英夫 : 「M2M の国際標準化活動と我が国の歩み」, 電子情報通信学会誌, Vol. 96, No. 5, pp. 299-304 (2013)
- [6] 東京大学アンビエント社会基盤研究会 (編), 農業ワーキンググループ成果報告書 (2012)
- [7] 辻秀一 : 「M2M 技術調査専門委員会活動報告—全体活動報告—」, 平成 24 年電気学会 電子・情報システム部門大会講演論文集, 電気学会 電子・情報システム部門, pp. 239-240 (2012)
- [8] 澤本潤, 辻秀一 : 「M2M 技術調査専門委員会活動報告— M2M 応用分野の調査結果—」, 平成 24 年 電気学会 電子・情報システム部門大会講演論文集, 電気学会 電子・情報システム部門, pp. 241-244 (2012)
- [9] 清尾克彦 : 「M2M 技術調査専門委員会活動報告—M2M 技術動向の調査結果—」, 平成 24 年 電気学会 電子・情報システム部門大会講演論文集, 電気学会 電子・情報システム部門, pp. 245-248 (2012)
- [10] 北上真二 : 「M2M 技術調査専門委員会活動報告—標準化動向報告—低コスト接続性・双方向通信・マルチアプリケーション—」, 平成 24 年 電気学会 電子・情報システム部門大会講演論文集, 電気学会 電子・情報システム部門, pp. 249-253 (2012)
- [11] 株式会社矢野経済研究所 : 「2014 M2M 市場～IoT 時代に飛躍する X2M ビジネスの研究～」 (2014 年 2 月)

- [12] ミック経済研究所：「急拡大するワイヤレス M2M ソリューション市場の実態と展望 2012 年度版」（2012 年）
- [13] ROA Holdings Inc.：B2C 向けモバイル M2M の展望と課題 ～センサネットワークが成長ドライバに～（2010）
- [14] 総務省：「平成 24 年度版 情報通信白書」, M2M 通信サービス事例（2012 年）
- [15] 株式会社矢野経済研究所：「2014 M2M 市場～IoT 時代に飛躍する X2M ビジネスの研究～」（2014 年 2 月）
- [16] 藤岡雅宜：「M2M のグローバル展開と課題」, 電子情報通信学会誌, Vol. 96, No. 5, pp. 365-370（2013 年 1 月）
- [17] GSMA Association, GSMA PUBLISHES “EMBEDDED SIM” SPECIFICATION FOR MACHINE-TO-MACHINE (M2M) SERVICES (Dec. 19, 2013), <http://www.gsma.com/newsroom/gsma-publishes-embedded-sim-m2m-services/> (Jun. 2014)
- [18] NTT アドバンステクノロジー株式会社：平成 22 年度「将来の電気通信番号に関する調査研究」（2010 年）
- [19] 総務省ユビキタスセンサーネットワーク技術に関する調査研究会：“ユビキタスセンサーネットワークの実現に向けて最終報告”（2004）
- [20] WHO：World Health Statistics 2014（2014）
- [21] 内閣府（編）：「平成 26 年版 高齢社会白書」（2014）
- [22] 厚生労働省（編）：「最近の医療費の動向-MEDIAS-平成 25 年 12 月」（2013）
- [23] 厚生労働省（編）：「新制度における医療費, 給付費の将来見通し」（2011）
- [24] 全国公私病院連盟：「平成 25 年度病院運営実態分析調査の概要（平成 25 年 6 月調査）」（2014）
- [25] South Miami Hospital, eICU LifeGuard, <https://baptisthealth.net/en/facilities/south-miami-hospital/pages/eicu-life-guard.aspx> (May. 2014)
- [26] iMPak Health, Meridian Health and iMPak Health Tap T-Mobile to Deploy Near Field Communication Technology for Mobile Health Application,

- http://www.impakhealth.com/uploads/IMPak%20SleepTrak%20press%20release_FINAL.pdf (May. 2014)
- [27] KORE Telematics, KORE Telematics Chosen by Arizona Utility to Provide Wireless Services for Large-Scale Automated Metering Expansion,
<http://www.koretelematics.com/press-release/kore-telematics-chosen-by-arizona-utility-to-provide-wireless-services-for-large-scale-automated-metering-expansion> (May. 2014)
- [28] Greentechmedia, AT&T / SmartSynch Cellular-Smart Meter Partnership Lands First Utility,
<http://www.greentechmedia.com/green-light/post/att-smartsynch-cellular-smart-meter-partnership-lands-first-3256/> (May. 2014)
- [29] Texas-New Mexico Power, TNMP Completes Advanced Meter Deployment Along Texas Gulf Coast; Begins North Texas Installations in Lewisville, http://www.powerinyourhands.com/press_wrapup.php (May. 2014)
- [30] RFID JURNAL, ClimateMinder Monitors Conditions at Farms, Greenhouses, Warehouses,
<http://www.rfidjournal.com/articles/view?5240> (May. 2014)
- [31] Opto 22, Opto 22-Nokia Machine-to-Machine Technology Enables Monitoring of Remote Generators for Field Service Optimization,
http://www.opto-tech.com.cn/case%20studies/pdf/1431_Case_Study_Brookstone_Equipment_Company.pdf (May. 2014)
- [32] AARFID, AARFID™ partners with Mississippi Blood Services to develop method to read up to 50 blood bag RFID tags in less than 2 seconds. <http://www.aarfid.com/index2.html> (May. 2014)
- [33] Texas Instruments, Mississippi Blood Services Improves Product Integrity and Delivery with RFID from Texas Instruments and AARFID,
<http://newscenter.ti.com/index.php?s=32851&item=127424> (May. 2014)
- [34] 保田浩之, 福永茂, 松平正樹:「M2Mを基盤としたコンテクストアウェアネスシステム」, 電子情報通信学会誌, Vol. 96, No.5, pp.354-359 (2014)

- [35] 経済産業省 関東経済産業局：「スマートコミュニティ（スマートシティ）」, <http://www.kanto.meti.go.jp/seisaku/smacom/index.html> (Jun. 2014)
- [36] 竹中大史, 原田尚侑, 大場大輔, 中川純, 長澤夏子, 広橋亘, 林泰弘, 田辺新一：建設・窓システムの協調制御 HEMS および温度・電力量の見せる化による省エネルギー運用システムの開発, 電子情報通信学会, 信学技報 ASN2014-9, pp. 35-36 (2014)
- [37] 山本高至, 守倉正博：「数万端末競合環境を実現する ENTERPRICE M2M ネットワークの提案」, 電子情報通信学会, 信学技報 RCS2011-294, pp. 153-158 (2012)
- [38] 山本高至, 守倉正博：「数万端末競合環境を実現する M2M 無線アクセスネットワーク」, 電子情報通信学会, 信学技報 Vol. 96, No.5, pp. 330-335 (2013)
- [39] 山本高至, 守倉正博：「数万端末競合環境を実現する ENTERPRICE M2M ネットワークの研究」, 電子情報通信学会, 信学技報 ASN2013-41, pp. 271-276 (2013)
- [40] 山本高至, 西尾理志, 守倉正博：「ENTERPRICE M2M ネットワークの研究 数万端末競合環境の実現方法」, 電子情報通信学会, 信学技報 Vol. 114, No. 65, pp. 19-22 (2014)
- [41] 経済産業省：「スマートコミュニティ」, http://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/smart_community/doc/smartcommu.pdf (Jun. 2014)
- [42] 国土交通省：平成 21 年度国土交通省白書 (2009 年)
- [43] 森川博之, 鈴木誠：「M2M が未来を作る」, 電子情報通信学会誌 Vol.96, No.5, 2013
- [44] 3GPP (The 3rd Generation Partnership Project) , <http://www.3gpp.org/>
- [45] 総務省 総合通信基盤局：MVNO に係る電気通信事業法及び電波法の適用関係に関するガイドライン (2013 年 9 月)
- [46] 小町守, 木田泰夫：スマートフォンにおける日本語入力の現状と課題, <http://cl.sd.tmu.ac.jp/~komachi/papers/nlp2011-ime.pdf> (2014)

- [47] 株式会社 IDY 本田和明：「WPAN/WMAN 連携で始まるシステム要件の確立と無線 IP 携帯端末の今後」，月刊自動認識 2008 Vol.21 No.3，BA0711-03 0915-1060/08，日本工業出版（2008 年 3 月）
- [48] 阪田史郎：「無線 PAN/LAN/MAN/WAN の最新技術動向」，千葉大学大学院（2006 年 2 月）
- [49] 博報堂 DY グループ スマートデバイス・ビジネスセンター：「全国スマートフォンユーザー1000 人定期調査」第 9 回分析結果報告（2014 年 2 月）
- [50] 一般社団法人 電気通信事業者協会：携帯電話・PHS 契約数（2014 年 3 月）
- [51] 堀賢治，服部雅晴，吉原貴仁，井戸上彰，山崎徳和：「M2M エリアネットワーク」，電子情報通信学会誌，Vol. 96. No. 5, pp. 324-329. 2013
- [52] WiFi Alliance, <http://www.wi-fi.org/>
- [53] Bluetooth SIG, <https://www.bluetooth.org/>
- [54] ZigBee Alliance, <http://www.zigbee.org/>
- [55] Z-Wave Alliance, <http://www.z-wavealliance.org/>
- [56] ANT+ Alliance, <http://www.thisisant.com/>
- [57] 総務省 情報通信審議会 電気通信事業政策部会 電気通信番号政策委員会：「携帯電話の電話番号数の拡大に向けた電気通信番号に係わる制度等の在り方」（2011 年 11 月）
- [58] 総務省 「電気通信サービスの契約数及びシェアに関する四半期データの公表（平成 25 年度第 3 四半期（12 月末）別紙」（2014 年）
- [59] ITU : International Telecommunication Union , <http://www.itu.int/en/Pages/default.aspx> (Jun. 2014)
- [60] K. Chang, A. Soong, M. Tseng, and Z. Xiang, "Global wireless machine-to-machine standardization," IEEE INternet Comput., vol. 15, no.2, pp. 64-69, March/April 2011.
- [61] ETSI TS 102 690 V1.1.1, "Machine-to-machine communications(M2M)," Functional architecture, Oct. 2011.
- [62] TIA TIA-4940.005, "Smart device communications," Reference architecture, Dec. 2011.
- [63] oneM2M oneM2M-TR-0002-Architecture_Analysis_Part_1-V-0.2.0,

- “Architecture Analysis - Part 1: Analysis of architectures proposed for consideration by oneM2M”, Jul. 2013
- [64] 荒川豊：「モバイルセンシングの現実と実用化に向けた課題」，電子情報通信学会，信学技報 Vol.114, No.65, pp. 133-137 (2014)
- [65] 総務省：「情報流通・蓄積量の計測手法の検討に係る調査研究」（平成 25 年）
- [66] Z. Shelby, K. Harke, C. Bormann, and B. Frank, "Constrained application protocol(CoAP)," draft-ietf-core-coap-12, Oct. 2012.
- [67] Fette and A. Melnikov, "The websocket protocol," draft-ietf-hybi-thewebsocketprotocol-17, Spt. 2011.
- [68] G. Montenegro, N. Kushalnagar, J. Hui, and D. Culler, "Transmission of IPv6 packets over IEEE 802.15.4 networks," IETF TFC-4944, Sept. 2007.
- [69] 玉村亘，川井秀之，岡田高幸，早瀬道朗，堀場隆文：「イベント・バスを用いたスマート・メーター・システムの構築」，IBM プロフェッショナル論文，PROVISION, No. 64/Winter 2010, pp. 81-88
- [70] 清尾克彦：「M2M (Machine to Machine) 技術の動向と応用事例」（2013 年 1 月）
- [71] 松本典剛，D.S.D.-Haggerty, D.E.Culler：「TCP/6LoWPAN を活用した産業向けワイヤレスセンサネットワーク」，電子情報通信学会，信学技報，USN2009-62, pp. 69-74, Jan. 2010
- [72] 小林中，内田訓雄：「M2M 通信におけるデバイス管理」，電子情報通信学会誌，Vol. 96, No.5, pp.341-346 (2014)
- [73] Shanghai SIMCom Wireless Solutions Ltd.：「SIM5320_Hardware Design_V1.03」（2011 年）
- [74] 株式会社 NTT ドコモ：公開資料「ご利用料金・メッセージの送受信料について」（2014 年 4 月）
- [75] ROA Holdings Inc.：B2C 向けモバイル M2M の展望と課題 ～センサネットワークキングが成長ドライバに～（2010）
- [76] Business Report Online BRO コラム：「今後 5 年で 1,000 億円市場へ急成長 ―ポテンシャルを秘めた"M2M"市場をリサーチ」 株式会社ミック

経済研究所 (2012 年 11 月)

- [77] 総務省 : 平成 23 年度 電気通信サービスに係る内外価格差に関する調査 携帯電話 (モデルによる比較)
- [78] ノキアシーメンスネットワークス株式会社 : M2M 標準対応とクラウドで急拡大する市場へ低コストのサービス提供で斬り込む, http://www.nokiasiemensnetworks.co.jp/hirameki/pdf/07_m2m.pdf (2013 年 3 月)
- [79] モバイルコンピューティング推進コンソーシアム : モバイル M2M ワーキンググループ 「モバイル M2M ワーキンググループ活動開始のお知らせ」 1. モバイル M2M ワーキンググループ設立の背景と目標 (狙い) (2012 年 2 月)
- [80] 角, 長 : 「M2M 無線モジュール用 4 バンド共用プリントアンテナの動作解析」, 電子情報通信学会, 信学技報, A・P2014-20, pp. 5-10 (2014)
- [81] FOMA アダプタ用小型防滴アンテナ 取扱説明書 第 1.1 版, Page2, NTT ドコモ株式会社 (2006)
- [82] 角, 長 : 「対称台形素子と帯状素子から構成される 4 バンド小形プリントアンテナの周波数特性」, 電子情報通信学会, 信学技報, AP2013-47, July 2013.
- [83] 角, 長 : 「対称台形素子装荷 4 バンド共用小形プリントアンテナのモノポール素子形状による影響」, 信学ソ大, B-1-65, September 2013.
- [84] 角, 長 : 「対称台形素子装荷 4 バンド共用小形プリントアンテナの動作解析」, 信学総大, B-1-158, March 2014.
- [85] 虫明康人 : 電波とアンテナのやさしい話—超ブロードバンド化の原理の発見, オーム社 (2001).
- [86] 長敬三, 山口良, 蔣恵玲 : 次世代移動通信システム実現に向けた基地局・端末アンテナ技術, 電子情報通信学会論文誌, B Vol. J91-B No.9 pp.886-900 (2008)
- [87] 角居洋司, 吉村裕光 : アンテナハンドブック, pp.344, CQ 出版社 (2005)
- [88] 玉岡弘行, 濱田浩樹, 上野孝弘 : マルチバンドアンテナ, 一般論文 古河電工時報 第 114 号 (2004 年 7 月)
- [89] 松田幸雄 : シミュレーションによるアンテナ製作, CQ 出版社 (2008).

- [90] 石飛徳昌：Sonnet によるアンテナ解析のガイドライン，有限会社ソネット 技 研 平成 24 年 6 月 27 日，
<http://www.sonnetsoftware.co.jp/support/tips/antenna.pdf> (2013 年 3 月)
- [91] 佐藤仁：世界の通信事業者が狙う M2M 市場，株式会社情報通信総合研究 所，
http://www.icr.co.jp/newsletter/global_perspective/2012/Gpre2012102.html (2014 年 6 月)
- [92] 桑津浩太郎：「M2M 市場の動向，ビジネスモデルと研究開発」，電子情報通信学会誌，Vol. 96, No. 5, pp. 360-364 (2014)
- [93] 株式会社 NTT ドコモ：安心パケット定額サービス Online，
https://www.nttdocomo.co.jp/charge/packet/pake_hodai_w2/about/index.html (2014 年 6 月)
- [94] HEMS とは (ヘムス) BEMS とは (ベムス) CEMS とは (セムス) FEMS とは (フェムス)，東京コスモス電機株式会社，
<http://tocos-wireless.com/jp/tech/HEMS.html> (2013 年 3 月)

発表論文

(a) ジャーナル論文

本田和明, 森信一郎, 中村嘉隆, 高橋修 : ワイヤレス M2M 向け汎用アンテナの開発, 情報処理学会論文誌, コンシューマ・デバイス&システム, Vol.3 No.3 pp.49-58 (July 2013).

(b) 国際会議 (査読付き)

Kazuaki Honda, and Osamu Takahashi : Improvement of The Communication Stability for Wireless M2M Router System, Proceedings of International Workshop on Informatics (IWIN 2013), pp.177-181(September 2013).

Yoshitaka Nakamura, Masashi Sekiya, Kazuaki Honda, and Osamu Takahashi, "An effective power saving method in Geo-fencing service using temperature sensors," Proceedings of the IEEE International Conference on Consumer Electronics-Taiwan (IEEE ICCE-TW 2014), pp.139-140, May 2014.

(c) 国内研究会

本田和明, 高橋修 : ワイヤレス M2M 向けルータシステムの開発, 情報処理学会, 研究報告, コンシューマ・デバイス&システム, Vol.2012-CDS-5, No.15, pp.1-8 (2012-10-10).

関谷仁志, 中村嘉隆, 高橋修, 本田和明 : ジオフェンシングサービスにおける効果的な消費電力削減手法の提案, 情報処理学会, 第 76 回全国大会, 4V-3, pp.1-2(2014 年 3 月).

付録

その1 第3章 M2M インタフェースの最適化で使った Source Code サンプル

```
<?php
//タイムゾーン設定
date_default_timezone_set('Asia/Tokyo');
//データベース接続情報
class DbSet
{
    const          hostname          =          'mysql:dbname=
useriduseriduserid;host=hostserver.net;port=12345';
    const userid="useriduseriduserid";
    const passwd = "passwordpasswordpassword ";
}
//端末の IMEI
$imei_master = array(
'1' => '1111111111111111',
'2' => '2222222222222222',
'3' => '3333333333333333',
'4' => '4444444444444444',
'5' => '5555555555555555'
);
//名称テーブル
$name_master = array(
'1' => '端末①',
'2' => '端末②',
'3' => '端末③',
'4' => '端末④',
'5' => '端末⑤'
);
//緯度、経度の初期値
```

```
class PositionSet
{
const latMaster = '35.674837';
const lonMaster = '139.76620';
}
//ログファイルのパス
class LogSet
{
const logPath = '../phplogs/';
}

//120 秒以上経過したか確認
class UpdateTime
{
const updateSec = "-150 sec";
}
//クライアント設定情報
class ClientSetting
{
// Map 更新周期 (ミリ秒)
const INTERVAL_UPDATE = 2000;
// サイト見出し
const SITE_TITLE = "GPS Tracker デモサイト";
// 名称リスト見出し
const NAME_LIST_LABEL = "端末番号";
// コース
const COURSE = "IDY Course MAP";
}
?>
```

図目次

図 1-1 垂直統合型 M2M（専用設計）	3
図 1-2 水平統合型 M2M（共通設計）	4
図 1-3 M2M に期待されるサービス分野	8
図 1-4 M2M で提供されるサービスと要素技術	9
図 1-5 スマートコミュニティへの M2M 応用例[41]	11
図 2-1 通信モジュール（PHS）（例）	17
図 2-2 通信モジュール（3G）（例）	18
図 2-3 通信モジュール契約数[50].....	19
図 2-4 通信モジュールの低廉化[57]	19
図 2-5 ETSI TC M2M 機能アーキテクチャ[63]	22
図 2-6 ETSI TC M2M 機能アーキテクチャフレームワーク[63]	22
図 2-7 TIA TR50 ハイレベルシステムアーキテクチャ[63]	23
図 2-8 TIA TR-50 M2M アーキテクチャ[63]	24
図 2-9 M2M システム構成図	25
図 2-10 M2M システムの共通化を阻害する要因分析	27
図 2-11 本研究における検討対象.....	27
図 3-1 ビッグデータ流通量推移（メディア別） [65]	30
図 3-2 RFID と 3G, バッテリーを搭載したモバイル計測端末「K-SOK」	30
図 3-3 プロトタイプのハードウェア構成概略	34
図 3-4 SIM5320J を採用したプロトタイプの構成	36
図 3-5 プロトタイプの実装基板.....	36
図 3-6 プロトタイプの外観.....	37
図 3-7 プロトタイプのソフトウェア構成概略	38
図 3-8 SMS による遠隔制御（IP 設定）	42
図 3-9 2014 沖縄本島一周クレイジーラン 全軌跡（被験者 O）	44
図 3-10 2014 沖縄本島一周クレイジーラン スタート時軌跡（被験者 O）	45
図 3-11 2014 沖縄本島一周クレイジーラン 最終計測地点（被験者 O） .	45

図 3-12	プロトタイプ端末の SMS による電圧変化	47
図 3-13	UTMF2014 で実験に使用したアプリケーション	49
図 3-14	モバイル端末のバッテリー電圧確認アプリケーション	49
図 4-1	M2M デバイスにおける通信アンテナ	51
図 4-2	ワイヤレス M2M ルータシステム構成図	53
図 4-3	既存のワイヤレス M2M ルータシステム	53
図 4-4	小型アンテナと外部アンテナ	54
図 4-5	自動販売機の金属面に設置された小型アンテナ	55
図 4-6	自動販売機の金属面に設置された外部アンテナ	56
図 4-7	放射特性測定環境	58
図 4-8	小型アンテナを使った実験	58
図 4-9	自由空間結果	59
図 4-10	金属板あり（距離 0mm）結果	59
図 4-11	金属板あり（距離 15mm）結果	60
図 4-12	金属板あり（距離 25mm）結果	60
図 4-13	試作アンテナシミュレーションモデル	64
図 4-14	試作アンテナ基板寸法図	64
図 4-15	試作したアンテナ基板	64
図 4-16	試作したアンテナの筐体	64
図 4-17	試作アンテナ放射特性（自由空間）	65
図 4-18	試作アンテナ放射特性（金属板）	66
図 4-19	824MHz における放射特性比較	67
図 4-20	885MHz における放射特性比較	67
図 4-21	1920MHz における放射特性比較	68
図 4-22	1980MHz における放射特性比較	68
図 4-23	2110MHz における放射特性比較	69
図 4-24	2170MHz における放射特性比較	69
図 4-25	試作アンテナと工場で生産したアンテナ	72
図 4-26	提案システムにおける品質測定環境	73
図 4-27	新しいワイヤレス M2M ルータシステム	73
図 4-28	市販化され導入されたアンテナ	75

図 5-1 定額課金制の課金イメージ.....	80
図 5-2 従量課金制の課金イメージ.....	80
図 5-3 構成図	81
図 5-4 調査環境.....	82
図 5-5 TCP/UDP でのパケット制御提案.....	88

表目次

表 1-1 想定される M2M サービスの需要母体[18]	6
表 1-2 M2M サービス分野と導入事例 [25][26][27][28][29][30][31][32][33][34]	10
表 2-1 近距離無線通信技術[51]	17
表 2-2 代表的な格安 SIM 提供 MVNO と提供するサービス	20
表 3-1 ビッグデータ流通量推移（メディア別） [65]	29
表 3-2 SI と取り扱えるデータによる IP と SMS の比較.....	32
表 3-3 SIM5320/-TE 仕様概略[73]	35
表 3-4 実験を行った大会	43
表 3-5 被験者 O 装着端末データ（サーバ受信）	46
表 4-1 本システムに求められるアンテナの技術仕様.....	62
表 4-2 本システム汎用性に求められるアンテナの要求事項.....	63
表 4-3 新しいワイヤレス M2M ルータシステム仕様 1.....	71
表 4-4 新しいワイヤレス M2M ルータシステム仕様 2.....	72
表 4-5 提案システムにおける品質測定結果.....	74
表 5-1 Global IP 時の不要なデータ受信	82
表 5-2 Global IP 時の不要なデータ受信（詳細）	84
表 5-3 Private IP 時の不要なデータ受信	85
表 5-4 Private IP 時の不要なデータ受信（詳細）	85
表 5-5 Global IP Well-Known Port への不正アクセス.....	87